



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

**ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE**

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

**IMPLEMENTACE SVAŘOVACÍHO AUTOMATU DO  
VÝROBY ARMATUR**

IMPLEMENTATION OF AUTOMATIC WELDING MACHINE TO PRODUCTION OF FITTINGS

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

MASTER'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Bc. Tadeáš Cícha**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**Ing. Marián Sigmund, Ph.D.**

**BRNO 2018**

# Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie  
Student: **Bc. Tadeáš Cícha**  
Studijní program: Strojní inženýrství  
Studijní obor: Strojírenská technologie  
Vedoucí práce: **Ing. Marián Sigmund, Ph.D.**  
Akademický rok: 2017/18

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

## Implementace svařovacího automatu do výroby armatur

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Automatizace stávajících ručních metod svařování, obzvláště v dnešní době, kdy je nedostatek kvalifikovaných svářečů, je stále častějším požadavkem mnoha firem. Konkrétně v této práci se jedná o implementaci/náhradu ručního GTAW a SMAW svařování, automatizovaným FCAW svařováním plněnou elektrodou při výrobě kovových kompenzátorů a armatur.

### Cíle diplomové práce:

1. Zhodnotit současný stav svařování kovových armatur ve firmě.
2. Vypracovat literární rešerži o kompenzátorech, včetně materiálů a používaných ručních a zamýšlených automatizovaných/ vhodných technologiích svařování armatur.
3. Vyhodnotit parametry svařování a podmínky nutné pro kvalifikaci operátorů a postupů svařování.
4. Zhotovit zkušební svary na zvoleném automatu.
5. Provést a vyhodnotit experiment.

### Seznam doporučené literatury:

DVOŘÁK, Milan. Technologie II. Vyd. 3., dopl., v Akademickém nakl. CERM 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2683-7.

PILOUS, Václav. Materiály a jejich chování při svařování, 1. vyd. ŠKODA-WELDING, Plzeň, 2009.

Materiály a jejich svařitelnost: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů. 2., upr. vyd. Ostrava: ZEROSS, 2001. ISBN 80-85771-85-3.

Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů. Ostrava: ZEROSS, 2001. Svařování. ISBN 80-85771-81-0.

MAJER, Lubomír. Navrhování a posuzování svařovaných konstrukcí a tlakových zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů. Ostrava: ZEROSS, 1999. ISBN 80-85771-70-5.

BARTÁK, Jiří. Výroba a aplikované inženýrství ve svařování: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů. Ostrava: ZEROSS, 2000. Svařování. ISBN 80-85771-72-1.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

CÍCHA Tadeáš: Implementace svařovacího automatu do výroby armatur

Diplomová práce je zaměřena na zavedení svařovací technologie FCAW do výrobního procesu strojírenského podniku. Součástí je také částečná automatizace procesu za pomoci využití polohovadla propojeného se svařovacím zdrojem. Praktická část práce obsahuje ověření svařitelnosti používaných materiálů a stanovení pWPS pro následnou kvalifikaci postupu svařování WPQR s použitím technologie svařování FCAW.

Klíčová slova: WPQR, FCAW, polohovadlo, kompenzátor, montážní vložka

## **ABSTRACT**

CÍCHA Tadeáš: Implementation of automatic welding machine to the production of fittings

The Diploma Thesis is focused on the implementation of FCAW welding technology to the manufacturing process of a mechanical engineering company. One part of implementation is partial automation of manufacturing process with positioner machine which is connected to the welding source. Practical part of Diploma Thesis includes the verification of the weldability of used materials and assigning of pWPS for subsequent qualification of the welding process WPQR with the welding technology FCAW.

Key words: WPQR, FCAW, positioner, compensator, mounting insert

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

CÍCHA, Tadeáš. *Implementace svařovacího automatu do výroby armatur*. Brno, 2018. 58s, 2 výkresy, 10 příloh, CD. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie svařování a povrchových úprav. Vedoucí práce Ing. Marián Sigmund, Ph.D..

## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Implementace svařovacího automatu do výroby armatur** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

---

Datum

---

Tadeáš Cícha

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto děkuji vedoucímu mé diplomové práce Ing. Mariánu Sigmundovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady při vypracovávání této práce.

Dále chci poděkovat panu Michalu Derychovi za poskytnutí informací k produktům od firmy Ekoinvesta s.r.o. a panu Ing. Pavlu Gejdošovi, Ph.D. za pomoc při tvorbě praktické části této diplomové práce.

Zároveň chci poděkovat mé rodině, příbuzným a známým, kteří mě podporovali během mého studia na VUT v Brně.

# OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

|   |    |
|---|----|
| ÚVOD .....                                  | 9  |
| 1 ROZBOR SOUČÁSTI .....                     | 10 |
| 1.1 Volba metody svařování .....            | 13 |
| 2 TECHNOLOGIE SVAŘOVÁNÍ .....               | 16 |
| 2.1 Svařitelnost uhlíkových ocelí .....     | 17 |
| 2.1.1 Tepelně ovlivněná oblast .....        | 18 |
| 2.1.2 Uhlíkový ekvivalent .....             | 20 |
| 2.1.3 ARA diagram .....                     | 21 |
| 2.1.4 Předehřev .....                       | 21 |
| 2.1.5 Žíhání ke snížení pnutí .....         | 23 |
| 2.2 Druhy svarových spojů .....             | 23 |
| 2.3 Stávající metoda svařování .....        | 25 |
| 2.3.1 Svařovací zařízení .....              | 26 |
| 2.3.2 Přenos kovu v oblouku .....           | 33 |
| 2.3.3 Parametry svařování .....             | 34 |
| 2.3.4 Technika svařování .....              | 37 |
| 2.4 Zaváděná metoda svařování .....         | 38 |
| 2.4.1 Trubičkový drát .....                 | 39 |
| 2.4.2 Polohovadlo .....                     | 40 |
| 2.4.3 Svařovací zdroj .....                 | 42 |
| 3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST .....                 | 43 |
| 3.1 Stanovení svařitelnosti .....           | 43 |
| 3.2 Kvalifikace svařovací technologie ..... | 44 |
| 3.3 Zhodnocení výsledků .....               | 54 |
| 4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ .....     | 56 |
| 5 ZÁVĚRY .....                              | 58 |

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratk

Seznam obrázků

Seznam tabulek

Seznam grafů

Seznam příloh

Seznam výkresů



## ÚVOD [1], [2]

Pro dopravu kapalin, plynů, či tuhých látek se v průmyslu běžně využívá potrubních systémů. Často je nutné dané látky dopravovat na dlouhé vzdálenosti, což vyžaduje použití trubek s velkou délkou. Jelikož na potrubí působí kromě přepravované látky také okolní vlivy, především teplota, dané potrubí se právě vlivem teploty roztahuje či smršťuje, a tudíž mohou v celém systému vznikat velká napětí, která je nutno omezit či v nejlepším případě úplně odstranit. Jednou z možností, jak těmto napětím předejít, je umístění mezi jednotlivé segmenty potrubního systému kompenzátor, který je schopen omezit či vyrušit změny délkových rozměrů a také stranové výkyvy potrubí. Pro snadnější montáž a demontáž potrubních systémů lze využít montážní vložku, která umožní snadnou montáž a výměnu armatur v potrubním systému a popřípadě umožní vymezit malé délkové úchyly potrubí.

Kompenzátor i montážní vložka se skládají z příruby, která slouží k připojení do potrubního systému, a z trubky. Tyto dvě části je nutno spojit tak, aby vznikl nerozebíratelný celek a byla zajištěna tuhost a pevnost celého výrobku a tím i jeho funkčnost. Jelikož se jedná o ocelové armatury, lze tohoto požadavku docílit pomocí svařování. Příklady montážních vložek a gumových kompenzátorů, které jsou zhotoveny svařováním, jsou na obrázku 1.



Obr. 1 Příklady kompenzátoru a montážní vložky [1].

## 1 ROZBOR SOUČÁSTI [1], [2], [3], [4], [5]

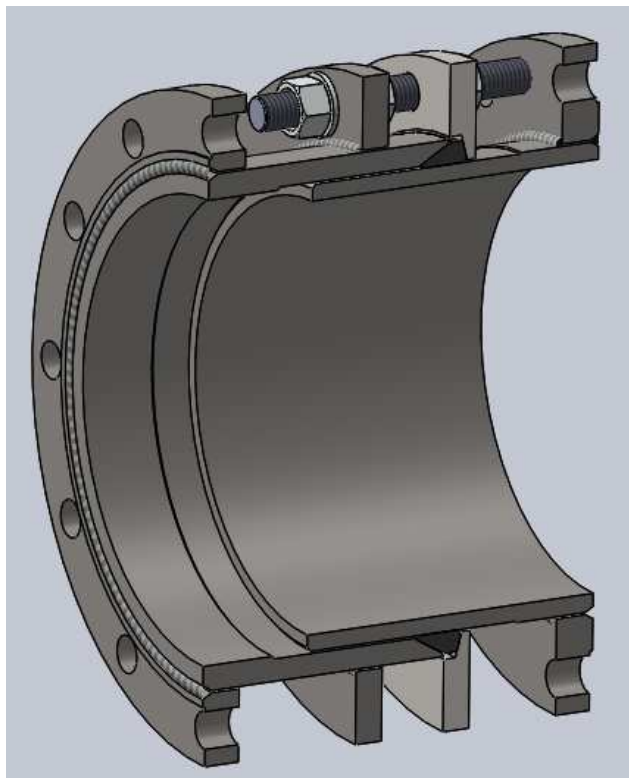
Montáž rozlehlých potrubních systémů se neobejde bez využití montážních vložek, které umožňují snadnější montáž a demontáž jednotlivých armatur v celém systému. Taktéž je za potřebí využití pryžových či kovových kompenzátorů, které slouží ke kompenzaci axiálních, laterálních a angulárních změn v potrubí. Touto problematikou se, mimo jiné, zabývá firma Ekoinvesta spol. s.r.o. sídlící v Hranicích na Moravě.

Firma Ekoinvesta byla založena v roce 1996 a již od začátku se zabývá výrobou kompenzátorů, především pryžových. Přestože je specializací firmy technické zařízení budov a průmyslové technologie, s postupem času se výroba kompenzátorů a montážních vložek dostává do popředí činností firmy. S tím souvisí získání certifikátu řízení jakosti dle ISO 9001:2000 a také certifikátu, který dosvědčuje kvalitu produktů dle směrnice evropského parlamentu a rady 2014/68/EU modul H, viz příloha 1. Firma se neustále snaží vylepšovat dané produkty a také rozšiřovat portfolio nabízených produktů.



Obr. 2 Pryžový kompenzátor GK [2].

Zmiňované produkty se skládají z více součástí, přičemž hlavní částí je vždy přípojovací příruba a k ní navařená trubka. Pro případ montážní vložky se jedná o tzv. tělo, které tvoří pevné opěrné pouzdro, do kterého se zasouvá posuvný díl, tzv. píst. Rozměr mezi přírubou těla a pístu je zajištěn a nastavován pomocí rozpěrných šroubů. Prostor mezi trubkami těla a pístu je vyplněn pryžovým těsnícím klínem, který zabraňuje úniku přepravovaného média a je do meziprostoru vtlačován těsnící přírubou, která je zajištěna maticí. Pryžový kompenzátor je složen z přípojovacích přírub, výztužných trubek a pryžového těla, které zajišťuje daný kompenzační efekt. Rozměry se řídí dle normy DIN 2501 a jsou rozděleny do jednotlivých dimenzí dle průměru potrubí. Například DN100 značí montážní vložku s vnitřním průměrem trubky 100 mm. Rozsah těchto dimenzí může být u kompenzátorů od DN30 až po DN 3600 a u montážních vložek od DN40 po DN2400, což se liší dle jednotlivých typů. Příklady kompenzátorů a montážních vložek specifikovaných dle dimenzí a rozměrů jsou uvedeny v tabulce 1. Na obrázku 3 je v řezu zobrazen model montážní vložky DN300-16.

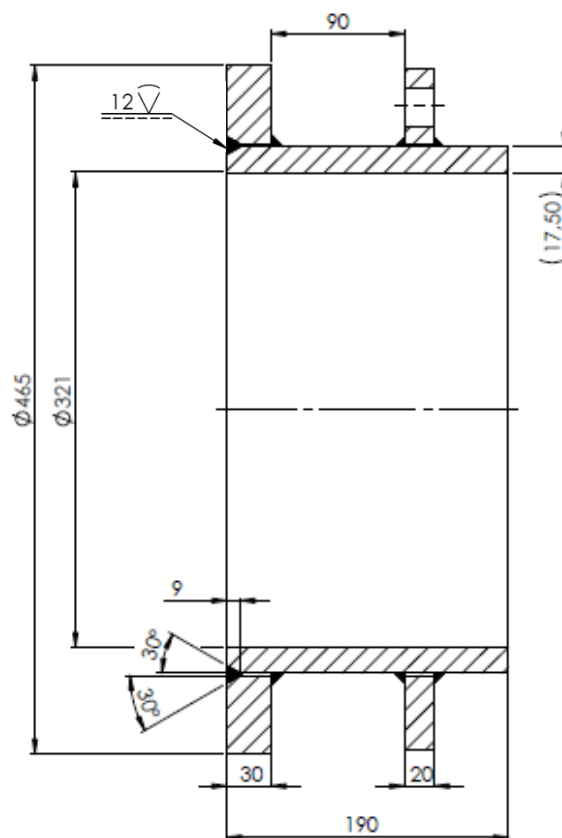


Obr. 3 Montážní vložka DN300-16 v řezu.

Tab. 1 Příklady kompenzátorů a montážních vložek [1].

| Kompenzátor     | DN [mm]    | Stavební délka Ls [mm] | Stlačení [mm]          | Roztažení [mm] | Radiální posun [mm]    | Úhlová výchylka [± °] |
|-----------------|------------|------------------------|------------------------|----------------|------------------------|-----------------------|
| GK              | 80 - 2200  | 200 - 510              | 13 - 20                | 10 - 15        | 5 - 12                 | 3 - 6                 |
| GKB             | 100 - 3600 | 150 - 400              | 30 - 79                | 10 - 54        | 15 - 60                | 1 - 47                |
| UK              | 40 - 500   | 375 - 760              | 50 - 150               | 50 - 150       | -                      | -                     |
| Montážní vložka | DN [mm]    | Stavební délka Ls [mm] | Nastavení délky l [mm] |                | Provozní tlak PN [bar] |                       |
| MV3             | 40 - 2400  | 200 - 450              | ± 25                   |                | 10 - 25                |                       |
| M20             | 40 - 1200  | 160 - 550              | ±5 - ±30               |                | 6 - 25                 |                       |

Předmětem řešení této diplomové práce je tělo výše zmiňované montážní vložky DN300-16. Tato součást je složena z přípojovací příruby, trubky a přítlačné příruby. Vhodnou technologií, jak jednotlivé části spojit, je technologie svařování. Řez řešenou součástí se zobrazením základních rozměrů a svarových spojů je zobrazen na obrázku 4. Kompletní výkres svařence je uložen v zadní části práce s názvem Svařenec těla M20, DN300-16.



Obr. 4 Řez tělem montážní vložky.

Pro svaření zadaného svařence je důležité zvolit vhodnou metodu svařování, která bude ekonomická, rychlá a především vhodná s ohledem na svařovaný materiál. Volba vhodného materiálu má důležitou roli pro zhotovení požadované součásti. Při volbě materiálu je brán ohled jak na požadované vlastnosti, jako jsou například pevnost a mez kluzu, aby byla zaručena funkčnost a stabilita dané konstrukce či součásti, tak na vhodnost tohoto materiálu ke svařování.

Jelikož jsou dané produkty určeny pro použití v odvětví, kde se v potrubí nachází tlak, musí být zvolena konstrukční ocel, která je schopna tomuto tlaku odolat. Zvolená ocel, která je dle ČSN EN 10028:2018 vhodná pro tlakové nádoby, se dle ČSN EN 10027-1:2017 značí P355N-TC1 (ekvivalentní označení: S355J2H, E355+N a dle ČSN: 11 503). Význam celého označení je následující:

- P - oceli pro tlakové nádoby,
- 355 - minimální mez kluzu  $R_e$  v  $N/mm^2$ ,
- N - normalizačně žíháno nebo normalizačně válcováno,
- TC1 - označení zkušební kategorie.

Jedná se o normalizačně žíhanou jemnozrnnou konstrukční ocel, která je vhodná ke svařování a je uklidněná. Základní materiál je po výrobě podrobován řadě zkoušek, aby se ověřila jeho kvalita. Provádí se následující zkoušky:

- zkouška tahem za normální či zvýšené teploty,
- zkouška rázem v ohybu,
- rozměrová kontrola,
- vizuální kontrola povrchu.

Chemické složení oceli P355N-TC1 je uvedeno v tabulce 2 a její mechanické vlastnosti při normální teplotě pro danou jakost jsou uvedeny v tabulce 3. Kompletní materiálový list k používané trubce je v příloze 2.

Tab. 2 Chemické složení v [hm. %] oceli P355N [4].

| Značka | Č. mat. | C<br>max | Si<br>max | Mn         | Cu   | Mo   | N    | Ni   | Ti   | V    | Nb+Ti+V<br>max |
|--------|---------|----------|-----------|------------|------|------|------|------|------|------|----------------|
| P355N  | 1.0562  | 0,2      | 0,5       | 0,9<br>1,7 | 0,30 | 0,08 | 0,02 | 0,50 | 0,03 | 0,10 | 0,12           |

Tab. 3 Mechanické vlastnosti oceli P355N [4].

| Značka | Č. mat. | Obvykle dodávaný stav | $R_{eH}$<br>[MPa] | $R_m$<br>[MPa] | A [%] |
|--------|---------|-----------------------|-------------------|----------------|-------|
| P355N  | 1.0562  | Normalizace           | 355               | 490 - 630      | 22    |

Dalším materiálem využívaným pro příruby svařenců je ocel S355J2+N. Ekvivalentním označením dle ČSN je 11 503. Ocel je vhodná ke svařování. Význam označení oceli je následující:

- S - konstrukční ocel,
- 355 - minimální mez kluzu  $R_e$  v  $N/mm^2$ ,
- J2 - hodnota nárazové energie 27J při  $-20^\circ C$ ,
- N - normalizačně žíháno nebo normalizačně válcováno.

Chemické složení a základní mechanické vlastnosti této oceli jsou v tabulce 4. Atest 3.1 k použitému plechu je v příloze 3.

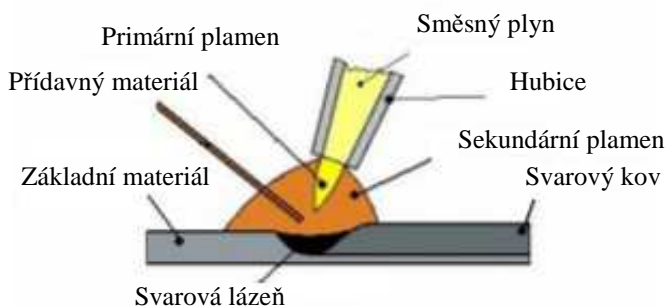
Tab. 4 Chemické složení v [hm. %] a mechanické vlastnosti oceli S355N [4].

| Značka | Č. mat. | C<br>max | Si<br>max    | Mn  | Cu<br>max | S<br>max | P<br>max | Ni<br>max | V<br>max | $R_{eH}$<br>[MPa] | $R_m$<br>[MPa] | A<br>[%]  |
|--------|---------|----------|--------------|-----|-----------|----------|----------|-----------|----------|-------------------|----------------|-----------|
| S355N  | 1.0577  | 0,20     | 0,50<br>1,65 | 0,9 | 0,35      | 0,03     | 0,035    | 0,50      | 0,12     | min<br>355        | 470<br>630     | min<br>22 |

## 1.1 Volba metody svařování [6], [7], [8], [9], [10], [11]

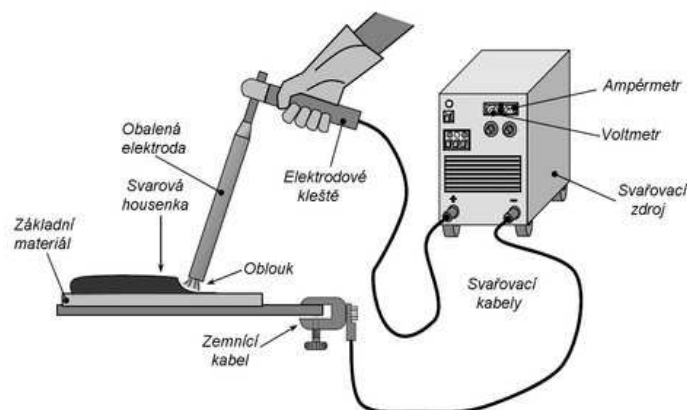
V současnosti existuje velké množství svařovacích metod. Dle ČSN EN ISO 4063:2011 se tyto metody dělí na metody tavné a odporové. Mezi odporové svařovací metody se řadí například svařování tlakem za studena, odporem, třením, ultrazvukem. Pro svařovaný dílec jsou tyto metody nevhodné, tudíž nebudou dále rozebírány. Mezi metody tavné patří svařování elektrostruskové, plazmou, slévárenské, laserem a také indukcí. Tyto metody svařování nejsou pro daný typ dílce vhodné, neboť jsou příliš nákladné. Jedná se o malosériovou až kusovou výrobu. Další možné metody tavného svařování jsou:

- Svařování plamenem – je založeno na chemické energii hoření směsi oxidujícího a hořlavého plynu. Nejčastěji se využívá směs kyslíku  $O_2$  a acetylénu  $C_2H_2$ , přičemž tento kyslíko-acetylenový plamen dosahuje teploty až  $3\,150^\circ C$ . Princip metody je založen na vedení svařovacího hořáku a přidávání přídavného drátu do místa svarového spoje. Lze využít dvou technik svařování – svařovací technika vpřed a svařovací technika vzad. Při svařování technikou vpřed je svařovací drát veden před hořákem ve směru svařování a při svařování vzad se drát nachází za hořákem, přičemž plamen více nahřívá základní materiál a chrání jej před účinkem okolní atmosféry. Tato metoda se řadí mezi starší metody, a jelikož má nízký tepelný příkon, lze ji dobře využít obvykle pro tloušťku plechů do 6 mm, proto je pro řešenou součást nevhodná.



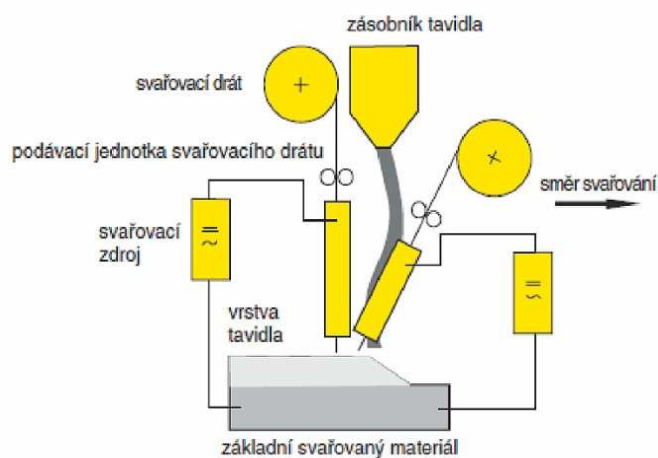
Obr. 5 Svařování plamenem [12].

- Svařování obalenou elektrodou – využívá jako zdroj tepla elektrický oblouk, který hoří mezi základním materiálem a hořící obalenou elektrodou. Elektroda je složena z kovového jádra a obalu, který je směsí organických a anorganických látek. Obal elektrody je velice důležitý, neboť má vliv na kvalitu svaru. Funkcí obalu je zejména zabránit přístupu vzduchu díky vytvoření ochranné atmosféry, nalegování svaru, odstranění nečistot díky vyplavování do strusky, formování housenky a stabilizace hoření oblouku. Obaly elektrod jsou kyselé, bazické a rutilové. Problémem této metody se může stát vlhkost elektrod, díky které se do svaru dostává vodík a následně dochází k praskání svaru. Tato metoda je poměrně jednoduchá, ale má nízkou produktivitu, jelikož elektrody se dodávají v délce 350 až 450 mm a tudíž musí docházet k častému přerušení procesu a vyměňování elektrod. Také díky nutnému odstranění strusky po ukončení svařování, je tato metoda nevhodná.



Obr. 6 Svařování obalenou elektrodou [13].

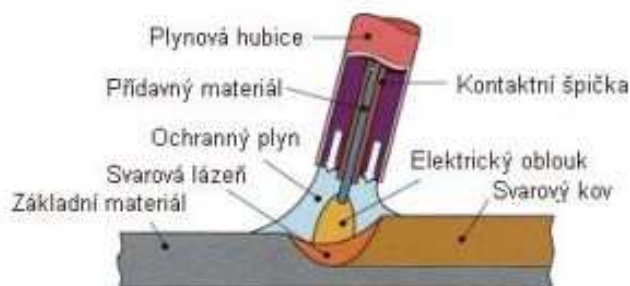
- Svařování pod tavidlem – je založeno na hoření elektrického oblouku mezi drátem a základním materiálem, přičemž celý proces probíhá pod vrstvou tavidla. Tavidlo je sypáno před svarovou lázní a při tavení drátu (elektrody) a základního materiálu tvoří ochranu pro vznikající svar oxidací. Přebytečné tavidlo je odsáváno zpět do zásobníku. Značnou výhodou metody je vysoká produktivita díky vyšším svařovacím proudům, rychlosti svařování a také dosažení lepších mechanických vlastností díky dobré ochraně svarové lázně. Nevýhodou je nutnost pečlivější přípravy svarových ploch a nemožnost kontrolovat tavnou lázeň během procesu. Metoda je většinou plně automatizovaná a využívá se především pro svařování větších tloušťek materiálů a pro svary velkých délek např. na trupech lodí, mostech atd. Pro využití na řešení součástí je tato metoda příliš náročná na přípravu a nákladná (pořizovací náklady na svařovací zařízení), tudíž pro daný typ výroby neekonomická.



Obr. 7 Svařování pod tavidlem [14].

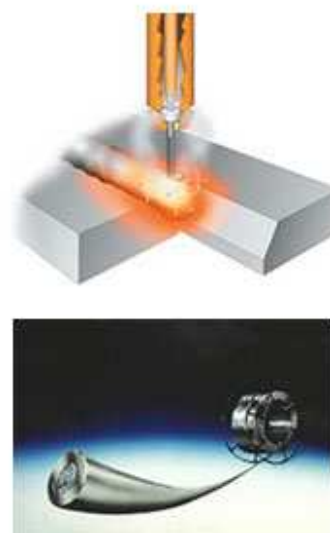


- Obloukové svařování tavící se elektrodou v inertním/aktivním plynu – metoda MIG/MAG. Tyto dvě metody se liší pouze v použitém ochranném plynu. Metoda MIG (Metal Inert Gas) využívá ochrany inertního plynu (např. He nebo Ar), který chemicky nereaguje s roztavenou lázní. Využívá se především pro svařování hliníku a nerezů, popřípadě jejich slitin, a proto zde nemůže být uplatněna. Výhodnou pro danou aplikaci se jeví metoda MAG (Metal Active Gas), kde ochranný plyn (Ar + O<sub>2</sub> nebo CO<sub>2</sub>) reaguje s roztavenou lázní. Výhodou je možnost svařování ve všech svařovacích polohách, vysoká produktivita, hluboký závar, dostupnost svařovacího zařízení, dostupnost ochranného plynu a také možnost automatizace ve spojení s vhodnými manipulátory či roboty.



Obr. 8 Svařování MIG/MAG [15].

- Obloukové svařování plněnou elektrodou – je obdobnou metodou jako MIG/MAG, přičemž v praxi se značí zkratkou FCAW (Flux Cored Arc Welding). Svařovací zařízení je pro obě metody shodné, rozdíl je pouze v přídavném drátu. Zatímco u MIG/MAG je přídavným materiálem plný drát, u metody FCAW se jedná o plněný drát (elektrodu). Náplň drátu může být na několika bázích – rutilová, basická nebo s přísadou kovového prášku. Díky možnosti vmíchání potřebných legur a dalších prvků do tavidla lze u metody FCAW docílit různých vlastností svarového kovu. Ve většině případů je využíváno přívodu ochranného plynu, nicméně náplň může být tvořena i tak, že při hoření oblouku vzniká vlastní ochranná atmosféra a přívod ochranného plynu tedy není nutný. Značnou výhodou této metody je rychlost odtavování elektrody, což vede k velkému výkonu svařování. Také lze snadněji kontrolovat a ovládat svarovou lázeň, přičemž nedochází k rozstříku lázně a svar je podstatně čistější než při použití drátu plného. Jelikož je využito stejného svařovacího zařízení, metoda není o mnoho nákladnější, než metoda MAG. Rovněž je vhodné, pro zvýšení efektivity, využití s manipulátory a roboty.



Obr. 9 Svařování trubičkovým drátem [11].

Z vyhodnocovaných metod se jeví nejvhodnější metoda MAG, která pracuje s aktivním plynem a oproti jiným metodám je pro potřeby menší firmy vyhovující. Rovněž vyhovující je metoda FCAW, která se shoduje s metodou MAG, přičemž má vyšší efektivitu svařování. Proto budou nadále rozebírány právě tyto dvě metody. Metoda MAG je ve firmě již zavedena a snahou do budoucna je svařovací procesy zefektivnit přechodem právě na metodu FCAW.

## 2 TECHNOLOGIE SVAŘOVÁNÍ [3], [7], [16]

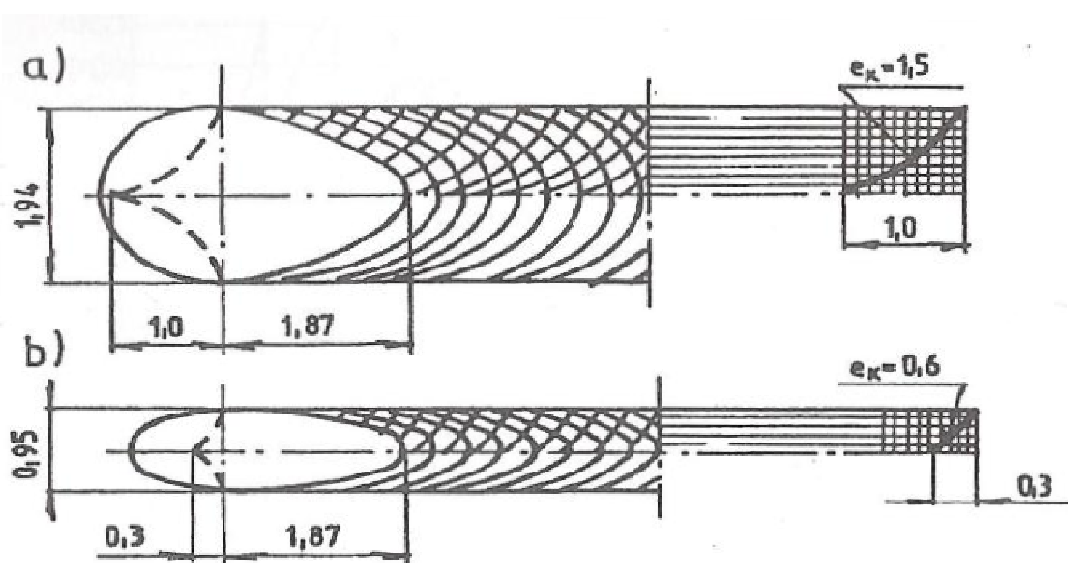
Principem technologie svařování je natavení malého objemu kovu díky vnesenému teplu za pomoci soustředěného zdroje tepla a ztuhnutí svarového kovu, který se skládá ze základního a přídavného materiálu. Díky tepelné vodivosti základního materiálu (ZM) se ohřívá také oblast okolo svaru. Tato oblast se nazývá tepelně ovlivněná oblast (TOO).

Vlivem vysokých teplot a jejich změn dochází v ZM během svařování k fázovým přeměnám, fyzikálně chemickým reakcím, změnám struktury v oblasti svarového spoje a také ke změnám objemu, které způsobují ve svarovém spoji vnitřní napětí a deformace. Tyto změny jsou ovlivněny především základním materiálem (chemické složení, fyzikální vlastnosti, geometrie), technologií svařování (metoda, postup, parametry) a množstvím tepla, které je do svaru vneseno. Množství tepla, které je vneseno do svaru na jednotku délky, je vyjádřeno vztahem (2.1).

$$Q = k \cdot \frac{U \cdot I}{10^3 \cdot v} \quad [\text{kJ} \cdot \text{mm}^{-1}] \quad (2.1)$$

|      |   |                          |   |                         |
|------|---|--------------------------|---|-------------------------|
| kde: | Q | [kJ · mm <sup>-1</sup> ] | - | měrný příkon svařování, |
|      | k | [-]                      | - | tepelná účinnost,       |
|      | U | [V]                      | - | svařovací napětí,       |
|      | I | [A]                      | - | svařovací proud,        |
|      | v | [mm · s <sup>-1</sup> ]  | - | svařovací rychlost.     |

Tento měrný příkon přímo ovlivňuje velikost a tvar svarové lázně. Intenzita svařovacího proudu ovlivňuje hloubku svarové lázně a velikost svařovacího napětí ovlivňuje její šířku. Tvar svarové lázně (obr. 10) je ovlivněn především rychlostí svařování.



a) malá svařovací rychlost

b) velká svařovací rychlost

Obr. 10 Tvar svarové lázně a růst dendritů [3].



Během svařování také dochází ke zředění svarového kovu základním materiálem, které více nebo méně vede ke znehodnocení svarového kovu. Zředění se udává v procentech a je vyjádřeno vztahem (2.2). Pro svařování obalenou elektrodou se hodnota zředění pohybuje okolo 50%, automaticky pod tavidlem až 75% a při svařování elektrostruskovém až 90%. Metody, které nevyužívají přídavného materiálu (svařování elektrickým odporem či elektronovým paprskem) je hodnota zředění 100%.

$$Z = \frac{S_z}{S_n \cdot S_z} \cdot 100 \quad [\%] \quad (2.2)$$

kde:  $Z$  [%] - zředění,

$S_z$  [mm<sup>2</sup>] - plocha závaru,

$S_n$  [mm<sup>2</sup>] - plocha navařeného kovu.

Při tuhnutí svaru probíhají likvací a segregační procesy. Svarový kov krystalizuje především v důsledku heterogenní nukleace na svarových plochách. Růst pevné fáze je tzv. epitaxiální, což znamená, že svarový kov dědí při krystalizaci orientaci a velikost zrn z přechodového pásma. Dle chemického složení svarového kovu a rychlosti svařování krystalizuje svarový kov celulárně nebo dendriticky. Celulární krystalizace nemá krystalografickou orientaci a nastává při menším podchlazení. Naopak krystalizace dendritická probíhá při větším podchlazení a růst dendritů probíhá především v krystalografickém směru  $\langle 100 \rangle$ . Ve většině případů začíná krystalizace svarového kovu růstem dendritů a v určitém okamžiku přechází na celulární. Pokud se zvolí vhodné parametry svařování a využije se pulzace svarového proudu, lze zvýšit objem celulární krystalizace. Svarové kovy většinou nedosahují stejné houževnatosti, jako mají základní materiály. Jejich vlastnosti jsou výrazně ovlivněny mikrostrukturou, precipitačními procesy, velikostí zrn, stárnutím, atd.

## 2.1 Svařitelnost uhlíkových ocelí [3], [17]

Svařitelnost je definována jako schopnost materiálu vytvořit vlivem tepelné, mechanické nebo radiační energie nerozebíratelný spoj. Spojení mezi materiály je uskutečněno za pomoci meziatomových sil a adhezních vazeb na kontaktních plochách.

Svařitelnost materiálu je nejvíce ovlivněna jeho chemickým složením. Změnou obsahu C, Mn, Si, P, Cr, Cu a Ni se mění téměř lineárně mez kluzu a mez pevnosti svarového kovu a snižuje se tažnost. Vliv jednotlivých prvků na svařitelnost a mechanické vlastnosti uhlíkových ocelí je následující:

**Uhlík** – C – do obsahu 0,25 hm. % jsou oceli vhodné ke svařování. Při vyšším obsahu je svařitelnost obtížná,

**Křemík** – Si – v nelegovaných uhlíkových ocelí zvyšuje křemík pevnost feritu a působí silně desoxidačně. Při obsahu křemíku pod 0,1 hm. % je ocel neuklidněná. Výhodný je do obsahu 0,8 hm. %,

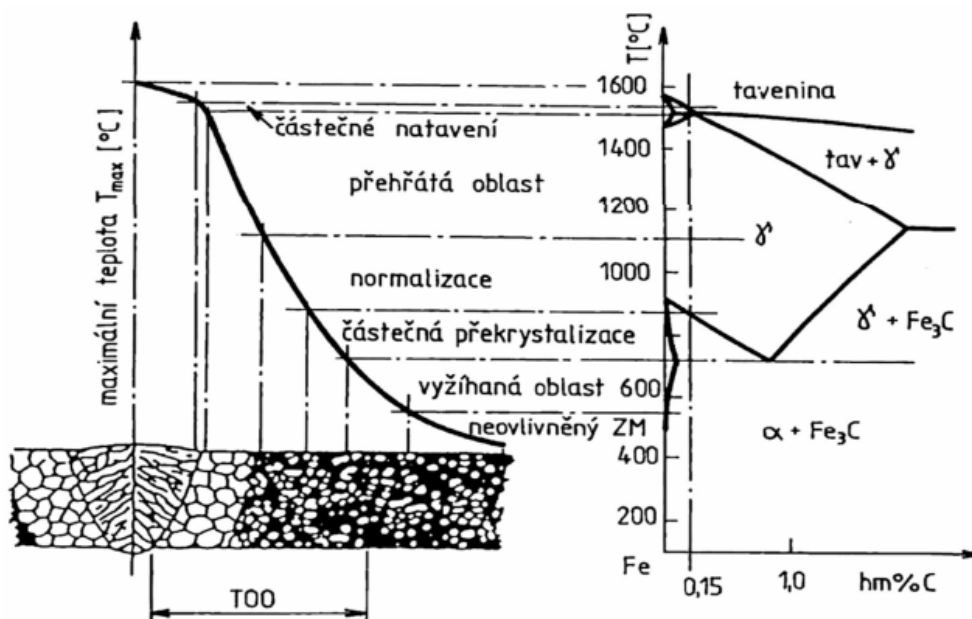
- Mangan – Mn** – zvyšuje mez kluzu a také mez pevnosti, aniž by docházelo ke snížení plasticity. Nelegované uhlíkové oceli obvykle obsahují 0,30 až 1,7 hm. % manganu. Mangan působí v oceli jako desoxidační činidlo,
- Fosfor – P** – zvyšuje mez kluzu i mez pevnosti. Ve spojení s mědí zvyšuje odolnost proti atmosférické korozi. Hlavním účinkem fosforu je zkřehnutí svaru za studena, tudíž se jeho množství u nelegovaných ocelí omezuje na max. 0,03 hm. %,
- Síra – S** – zlepšuje obrobiteľnosť, ale zároveň zvyšuje náchylnosť ke vzniku teplých trhlin. Pri vysokém obsahu síry působí příznivě přítomnost manganu, jelikož síra má k manganu vyšší afinitu než k železu a bod tavení sulfidu manganu je cca 1610 °C, díky čemuž jsou sulfidy manganu při tuhnutí oceli již v pevném stavu a působí jako krystalizační zárodky. U nelegovaných ocelí dosahuje obsah síry max. 0,03 hm. %,
- Dusík – N** – způsobuje vznik nitridů ve svaru, což má za následek zvýšení meze kluzu, meze pevnosti a také tvrdosti materiálu. Způsobuje snížení plastických vlastností, zejména tažnosti, vrubové houževnatosti a meze únavy. Způsobuje stárnutí uhlíkových ocelí a křehkost v oblasti teplot 100 až 350 °C,
- Vodík – H** – nežádoucí příměs v oceli i ve svaru. Zlepšuje svařitelnost, avšak mnohem důležitější a nežádoucí vlastností vodíku v oceli je tvorba pórů ve svaru, oduhličení svarového kovu a vznik trhlin ve svarovém kovu a v tepelně ovlivněné oblasti. Při svařování je zdrojem vodíku především vlhkost obalu elektrody a tavidel a vlhkost na povrchu základního a přídatného materiálu, ale také zbytky maziv, barev či vodík absorbovaný při moření či poměďování povrchů drátů,
- Hliník – Al** – působí silně nemitridačně a desoxidačně. Nitridy a oxidy hliníku působí v oceli jako krystalizační zárodky při tuhnutí. U silně uklidněných ocelí je obsah hliníku min. 0,02 hm. %,
- Měď – Cu** – při obsahu 0,15 až 0,50 hm. % mědi v oceli se snižuje rychlost koroze díky tvorbě těsné nepropustné oxidické vrstvy, která chrání materiál před korozí. Do materiálu se dostává díky použití šrotu s určitým obsahem mědi.

### 2.1.1 Tepelně ovlivněná oblast [3]

Tepelně ovlivněná oblast (TOO) je oblast v blízkosti svarového spoje, ve které dochází vlivem působení zdroje tepla ke změně mikrostruktury. Při svařování kovů a slitin, které nepodléhají polymorfní přeměně (Cu, Al, Ni), nedochází ke změně mikrostruktury, ale probíhá pouze rekrystalizace, substrukturní změny a růst zrn. U kovů a slitin, které mají polymorfní přeměnu (oceli), dochází v TOO k výrazným změnám struktury, které mají vliv na vlastnosti svarového spoje. Při svařování nelegovaných a legovaných ocelí, které mají

polymorfní přeměnu  $\alpha \rightarrow \gamma \rightarrow \alpha$ , se TOO dělí na charakteristická pásma, jak je zobrazeno na obrázku 11.

U nelegovaných ocelí způsobuje uhlík v TOO zvýšení tvrdosti a současně snižuje plasticitu, což má za následek vznik vnitřních pnutí a následně trhlin. Jako maximální tvrdost TOO se připouští 350 HV, čehož je dosaženo při 50 hm. % martenzitu ve struktuře a při obsahu uhlíku 0,25 hm. %, viz obrázek 12.



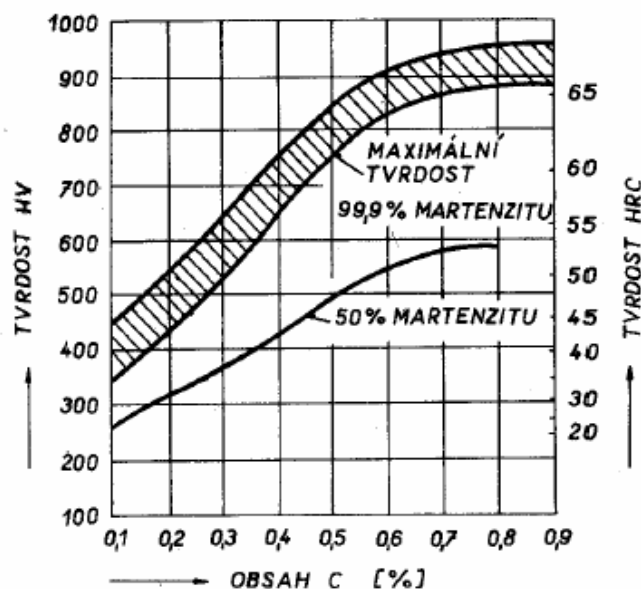
Obr. 11 Vliv teplotního účinku svařování na strukturu svarového spoje [3].

- Oblast částečného natavení – tvoří přechod mezi TOO a svarovým kovem. Obvykle je redukována na linii případně plochu, jelikož rozdíl mezi teplotami solidu a likvidu je minimální,
- Oblast přehřátí – je oblast, kde teplota přesahuje teplotu  $A_3$ . U nelegovaných ocelí je teplota cca 1050 °C a pro oceli mikrolegované 1250 – 1300 °C,
- Oblast normalizace – je vyhřátá nad teplotu  $A_3$ , s úplnou transformací  $\alpha \rightarrow \gamma \rightarrow \alpha$ ,
- Oblast částečné překrystalizace – je mezi teplotami  $A_1$  až  $A_3$ , s neúplnou polymorfní přeměnou,
- Oblast vyžíhaná – je pod teplotou  $A_1$ . Probíhají zde změny buď v rámci tuhého roztoku  $\alpha$  Fe popřípadě substrukturní.

Šířka jednotlivých oblastí TOO se liší dle metody svařování a je ovlivněna především svařovacími parametry. V TOO dochází ke změně mechanických vlastností a to následovně:

- pokles pevnosti,
- zvýšení tvrdosti nad teplotou přehřátí,
- snížení tvrdosti v okolí teploty  $A_1$ ,

- zhoršení plasticity vlivem hrubého zrna,
- zvýšení náchylnosti k praskání při zhrublé struktuře.



Obr. 12 Závislost tvrdosti oceli na obsahu uhlíku způsobená přítomností martenzitu [3].

### 2.1.2 Uhlíkový ekvivalent [3], [18]

V místě svarového spoje může v průběhu výroby a provozu svařovaných konstrukcí docházet k degradaci vlastností zvolené oceli. Vhodnost oceli ke svařování lze posuzovat pomocí uhlíkového ekvivalentu  $C_E$ , který vyjadřuje vliv jednotlivých prvků ke kalitelnosti oceli. Čím náchylnější je ocel k zakalení, neboli k tvorbě křehkých zakalených struktur (martenzit, spodní bainit) v TOO a ve svarovém kovu, tím obtížněji se daná ocel svařuje. Čím je uhlíkový ekvivalent vyšší, tím obtížněji se daný materiál svařuje. Lze jej vypočítat dle vztahu (2.3), který byl navržen Mezinárodním svářečským institutem (IIW/IIS).

$$C_E = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{16} \quad [\%] \quad (2.3)$$

Pro ocel do meze pevnosti 700 MPa není nutné aplikovat zvláštní opatření, pokud jsou splněny požadavky uvedeny v tabulce 5. Zvláštním opatřením se rozumí nutný předehřev a také žíhání pro snížení vnitřních pnutí po svařování. To se aplikuje, pokud tloušťka základního materiálu přesahuje 35 mm.

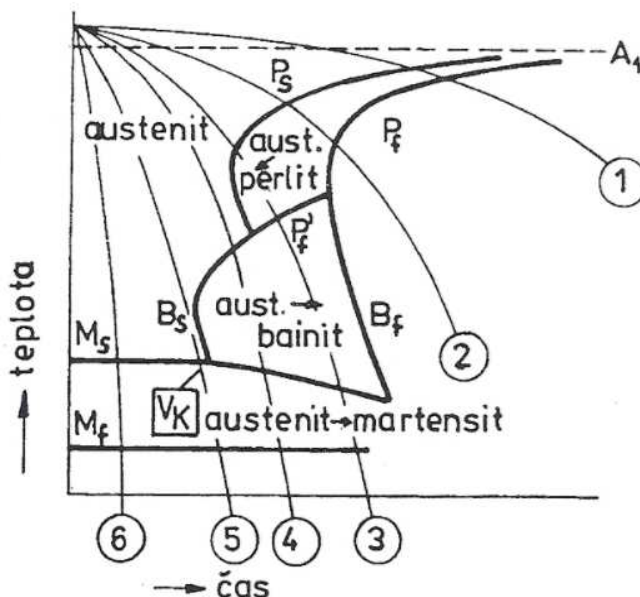
Tab. 5 Kritéria pro aplikaci speciálních opatření při svařování [3].

| Tloušťka [mm] | C [hm. %] | $C_E$  |
|---------------|-----------|--------|
| ≤ 25          | < 0,20    | < 0,45 |
| ≤ 35          | < 0,20    | < 0,41 |

### 2.1.3 ARA diagram [3], [19]

Diagram ARA (Anizotermický Rozpad Austenitu) udává počátky a konce přeměn, které se dějí při ochlazování svaru. ARA diagram je zobrazen na obrázku 13.

Při pomalém ochlazování (křivka 1 a 2) vzniká hrubý a jemný perlit. Tato struktura je v oblasti svaru považována za vyhovující. Při vyšších rychlostech ochlazování dochází k přeměně austenitu na perlit a následně bainit (křivka 3), popřípadě na bainit a následně martenzit (křivka 4). Se vzrůstající rychlostí se zvyšuje podíl martenzitu ve struktuře a při dosažení kritické rychlosti ochlazování  $V_K$  (křivka 5) dochází k přeměně austenitu přímo na martenzit.



Obr. 13 Diagram anizotermického rozpadu austenitu [19].

Vznik martenzitu je ve svaru nežádoucí, jelikož zvyšuje tvrdost a snižuje plasticitu. Je proto nutné předcházet jeho vzniku. Toho lze dosáhnout například předehřevem, žháním housenky další housenkou nebo větším tepelným příkonem při svařování.

### 2.1.4 Předehřev [3], [20], [21]

Předehřev se využívá před samotným svařováním pro snížení rychlosti chladnutí svaru, aby nevznikala martenzitická struktura a studené trhliny, které jsou způsobeny přítomností vodíku ve svaru. Předehřev lze vypočítat několika způsoby, především dle specifické skupiny oceli. Vztah (2.4) uvádí výpočet dle Séferiána, který je vhodný pro oceli s obsahem C > 0,10 hm. %. Na tento výpočet navazují výpočty (2.5), (2.6) a (2.7).

$$T_p = 350 \cdot \sqrt{C_p - 0,25} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (2.4)$$

kde:  $T_p$   $[^{\circ}\text{C}]$  - teplota předehřevu.

$$C_p = C_c + C_s \quad (2.5)$$

$$C_c = \frac{360 \cdot C + 40 \cdot (Mn + Cr) + 20 \cdot Ni + 28 \cdot Mo}{360} \quad (2.6)$$

kde:  $C_c$  [%] - ekvivalentní uhlík.

$$C_s = 0,005 \cdot s \cdot C_c \quad (2.7)$$

kde:  $s$  [mm] - tloušťka materiálu.

Další možností stanovení předehřevu je metoda dle ČSN EN 1011-2 B:2002, která se využívá především pro nízkolegované a vysokopevnostní oceli. Jedná se o tzv. algoritmus Uwer – Hohn – Tekken. Pro výpočet požadované teploty je nutno nejprve stanovit uhlíkový ekvivalent CET dle vztahu (2.8). Následně je vypočtena teplota předehřevu dle vztahu (2.9).

$$CET = C + \frac{Mn + Mo}{10} + \frac{Cr + Cu}{20} + \frac{Ni}{40} \quad [\%] \quad (2.8)$$

$$T_p = 697 \cdot CET + 160 \cdot \tanh\left(\frac{d}{35}\right) + 62 \cdot HD^{0,35} + (53 \cdot CET - 32) \cdot Q - 328 \quad (2.9)$$

kde:  $T_p$  [°C] - teplota předehřevu,  
 $CET$  [%] - uhlíkový ekvivalent,  
 $d$  [mm] - tloušťka plechu,  
 $HD$  [ml·100g<sup>-1</sup>] - obsah vodíku ve svarovém kovu,  
 $Q$  [kJ·mm<sup>-1</sup>] - tepelný příkon.

Uvedený výpočet platí pro konstrukční oceli s mezí kluzu do 1000 N·mm<sup>-2</sup> při dodržení následujících kritérií:

- $CET$  = 0,2 až 0,5 %,
- $d$  = 10 až 90 mm,
- $HD$  = 1 až 20 ml/100g,
- $Q$  = 0,5 až 4,0 kJ/mm.

### 2.1.5 Žíhání ke snížení pnutí [22]

Vlivem velkého vneseného tepla při svařování a při následném chladnutí se v materiálu objevuje pnutí a následně může docházet k deformacím. Tomu lze předejít pooperačním žíháním pro snížení vnitřních pnutí. Tepelné zpracování svarových spojů ovlivňuje mikrostrukturu, vlastnosti a provozní spolehlivost spoje.

Principem tohoto žíhání je ohřev stanovenou rychlostí na požadovanou teplotu, výdrž na této teplotě a následné ochlazení dle předepsané rychlosti ochlazování na určenou teplotu. Rychlost ohřevu se řídí dle velikosti průřezu a tvarové složitosti svařence, přičemž dle zvyklostí je rychlost doporučena na maximální hodnotu  $80\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}^{-1}$ . Výdrž na žíhací teplotě po dobu 4 až 6 hodin dochází k prohřátí celého průřezu, relaxačním a difúzním procesům, což má za následek požadované snížení pnutí. Žíhací teplota nesmí překročit teplotu  $A_1$  a pohybuje se v rozmezí 500 až 650  $^{\circ}\text{C}$ . Rychlost ochlazování je doporučena na 60 až 80  $^{\circ}\text{C}\cdot\text{hod}^{-1}$  do teploty 150 až 200  $^{\circ}\text{C}$ . Následně se svařenec ochlazuje na vzduchu.

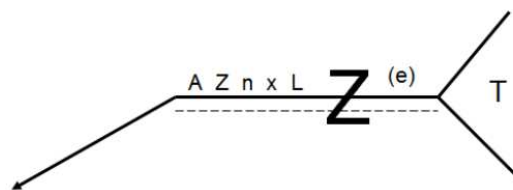
Tepelné zpracování svarku se uskutečňuje v odporově vytápěných komorových pecích se vzdušnou nebo řízenou atmosférou, která zabraňuje oxidaci a oduhličování povrchu svařenců. Lze využít také odporové nebo indukční žíhací zařízení pro lokální žíhání. Lokální žíhání je zobrazeno na obrázku 14.



Obr. 14 Lokální žíhání ke snížení vnitřního pnutí [23].

## 2.2 Druhy svarových spojů [6], [17]

Při navrhování konstrukce zhotovené pomocí svařování je nutné zvolit vhodný typ svarového spoje. Zvolený typ svaru je nutné vhodně zaznačit do výkresové dokumentace. Značení svarů se řídí dle normy ČSN EN ISO 2553:2014 (obr. 15).



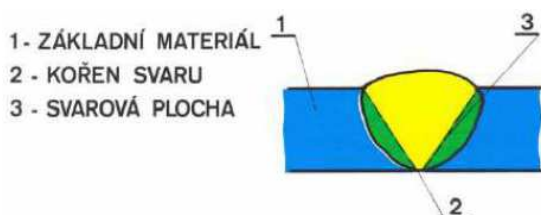
Kde: A - velikost svaru  
 Z - značka svaru  
 n - počet svarů  
 L - délka svaru  
 e - mezeru mezi svary  
 Z - střídavé umístění koutového svaru  
 T - technologické informace ke zhotovení svaru

Obr. 15 Značení svarového spoje [24].

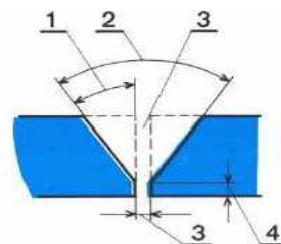
Volba vhodného svaru je ovlivněna následujícími hledisky:

- a) **Poloha průřezu svaru** – poloha je důležitá především kvůli zatěžujícím silám. Dle tohoto hlediska se provádí svary čelní, boční a šikmé.
- b) **Účel svaru** – provádí se svary spínací (u velkých průměrů potrubí), svary nosné (ocelové konstrukce) a svary těsnící (nádrže). U tlakových nádob či tlakových potrubí je nutné provést svary těsnící a nosné.
- c) **Tvar svaru** – závisí na konstrukčním provedení svarku, či svařované konstrukce. Dále je tvar svaru ovlivněn tvarem a tloušťkou svařovaných dílců, charakterem zátěžných sil, zvolenou technologií svařování a požadavkem na minimální spotřebu přídavného materiálu. Dle tvaru se svary dělí na: tupé, koutové, rohové, žlábkové, děrové, bodové a švové.
  - **Tupý spoj** - je nejvhodnější typ svarového spoje s využitím především pro strojní součásti a konstrukce, které jsou namáhány dynamicky. U tupého svaru je zachován plynulý silový tok. Pomocí obrobení převýšení svarové housenky na úroveň základního materiálu lze docílit výrazného snížení vrubového účinku.

Tupý spoj (obr. 16) vzniká svařením dvou dílců, které jsou přiloženy na tupo k sobě. Svarové plochy se před svařením vhodným způsobem upravují, s výjimkou svaru tvaru I. Svarové plochy pro tupý V svar jsou zobrazeny na obrázku 17.



1 - ÚHEL ZKOSENÍ  
 2 - ÚHEL ROZEVŘENÍ  
 3 - SVAROVÁ MEZERA  
 4 - OTUPENÍ

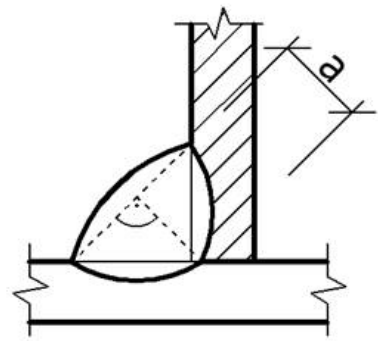


Obr. 16 Tupý svarový spoj [24].

Obr. 17 Svarové plochy pro tupý spoj [24].

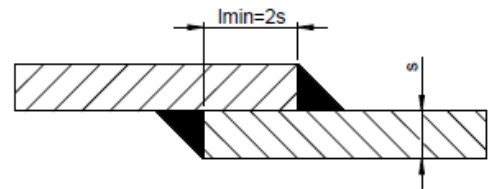


- **Koutový spoj** – je z pevnostního hlediska méně únosný, než svarový spoj tupý. Svarové plochy se většinou neupravují, opracovávají se jen ve výjimečných případech. Je vhodné svarové spoje svařit dvěma koutovými spoji, aby se vyloučil vliv ohybového momentu na zhotovený svar. Koutový spoj je znázorněn na obrázku 18.



Obr. 18 Koutový svarový spoj [25].

- **Přeplátovaný spoj** - je tvořen pomocí koutových svarů. Svařované dílce se dle rozměrů svaří bočními nebo čelními svary, popřípadě jejich kombinací. Používají se především pro méně namáhané svařované konstrukce s malou tloušťkou svařovaných materiálů. Přeplátovaný spoj, včetně znázornění minimální délky přeložení, je na obrázku 19.



Obr. 19 Přeplátovaný svarový spoj [17].

- **Děrový a žlábkový spoj** - vzniká zavařením otvorů nebo žlábků v horní části materiálu se spodním dílcem. Nevhodný pro přenášení velkých sil.
- **Bodový a švový spoj** – se zhotovuje pomocí odporového svařování na tupo. Svarové plochy jsou k sobě přitlačovány speciálními elektrodami ve tvaru tyčí nebo kladek. Využití převážně v automobilovém průmyslu (bodové spoje) nebo v trubkárnách (švový spoj).

## 2.3 Stávající metoda svařování [6], [7], [15], [26], [27]

Ve firmě se v současné době využívá metoda MAG, která má označení 135. Metoda MAG patří spolu se svařováním obalenou elektrodou k nejrozšířenějším metodám pro svařování nelegovaných a nízkolegovaných ocelí.

Principem metody je hoření oblouku mezi základním materiálem a tavící se elektrodou ve formě drátu v ochranné atmosféře aktivního plynu, který má oxidační charakter a ovlivňuje složení svarového kovu.

Výhody metody MAG jsou:

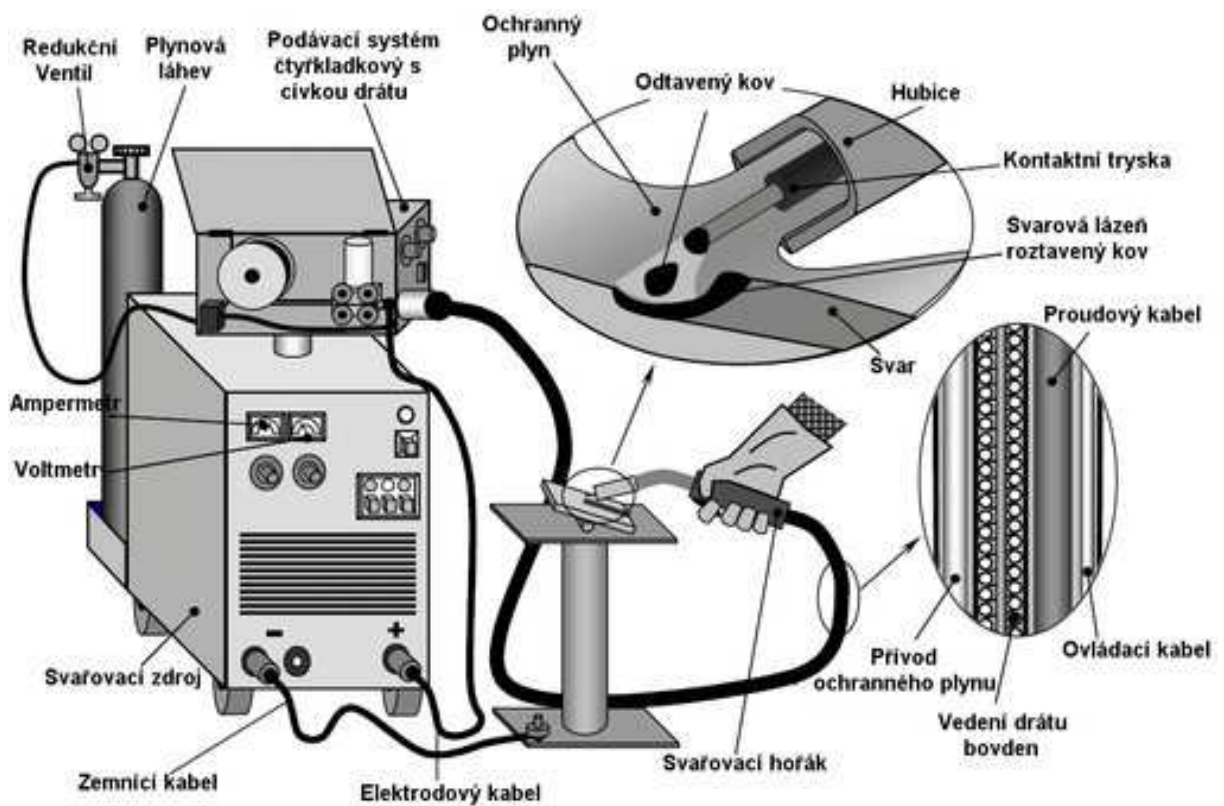
- svařování ve vodorovných polohách s polohováním od tloušťky materiálu 2 mm,
- vysoká efektivita,
- dobrý profil svaru a hluboký závar,
- minimální tvorba strusky,

- dobrá vizuální kontrola svarové lázně a samotného oblouku,
- u vysokých rychlostí svařování malá TOO,
- snadná automatizace.

### 2.3.1 Svařovací zařízení [7], [27]

Svařovací zařízení (obr. 20) se skládá z následujících částí:

- svařovací zdroj,
- plynová láhev,
- zásobník drátu,
- podavač drátu,
- svařovací hořák.



Obr. 20 Svařovací zařízení pro metodu MAG [26].

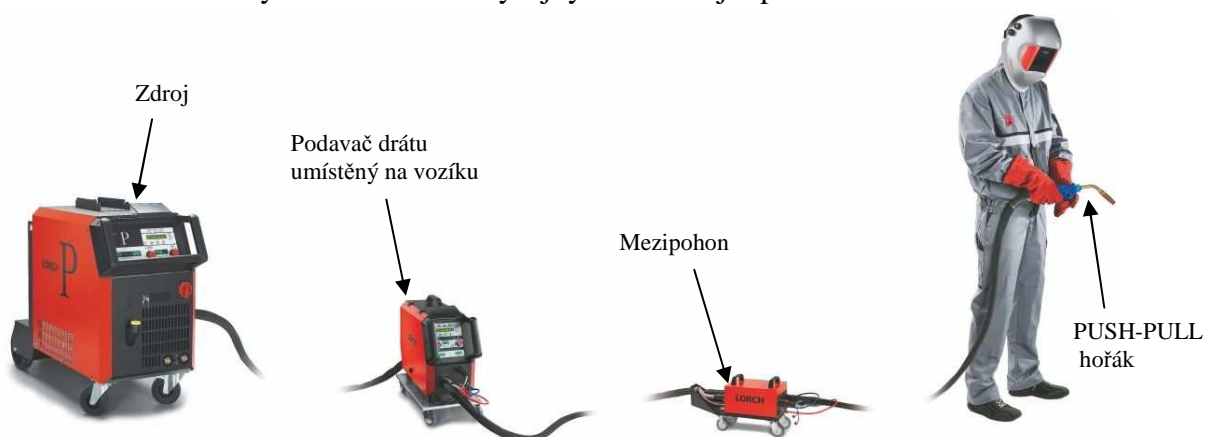
Moderní zařízení mohou obsahovat následující technické doplňky:

- vnitřní chlazení hořáku a svařovacího kabelu,
- mezipodavač drátu pro svařování na velké vzdálenosti,
- dálkový ovladač zdroje pro změnu parametrů,
- řídicí jednotku zdroje s možností ukládání svařovacích programů,
- rameno pro nesení hořáku a kabelu.

Podrobnější specifikace jednotlivých částí svařovacího zařízení je následující:

a) Svařovací zdroj – u metody MAG využívá stejnosměrný výstup proudu, přičemž kladný pól je připojen na drátovou elektrodu. Zdroj má plochou statickou charakteristiku s tzv. konstantním napětím, což má za následek samoregulaci pro udržování konstantní délky oblouku. Při malé změně délky oblouku a zároveň malé změně napětí dochází k velké změně proudu. Svařovací zdroj lze dělit následovně:

- Kompaktní zdroje – které mají integrovaný podavač drátu uvnitř zdroje. Využívají se pro nízký až střední výkon (do cca 250 – 300 A),
- Výkonné zdroje – mající oddělený podavač a chladicí jednotku uvnitř zdroje. Výkon do 500 A,
- Stavebnicové zdroje – skládající se ze zdroje, podavače drátu a u výkonnějších zdrojů chladicího zařízení. Jednotlivé komponenty jsou umístěny na pojízdném vozíku tak, aby byla zajištěna snadná přístupnost a výměna. Při svařování na delší vzdálenosti lze využít systému PUSH – PULL, který využívá posuvu drátu také přímo v hořáku, což zajišťuje rovnoměrnou rychlost podávání. Pro svařování vzdálené až 40 metrů od zdroje lze podavač drátu umístit na pojízdný vozík, popřípadě využít mezipohon. Využití těchto doplňků je na obrázku 21.
- Zdroje s podavačem přímo v hořáku – používající se pro svařování tenkým hliníkovým drátem. Pro obyčejný drát nemají uplatnění.



Obr. 21 Využití vzdáleného podavače a mezipohonu drátu s hořákem PUSH-PULL [28].

b) Svařovací hořák – zajišťuje přísun drátu a ochranného plynu do místa svařování. Při využití zdroje s nízkým příkonem je hořák chlazen procházejícím ochranným plynem, kdežto u vyšších příkonů je nutné využít hořák chlazený proudící kapalinou, např. destilovanou vodou. Hořáky lze dělit do dvou skupin: strojní a ruční. Strojní hořák má válcovou upínací část, kdežto hořák ruční využívá tvarovanou rukojeť pro dobré vedení hořáku svařecem. Ruční svařovací hořák je uveden na obrázku 22 a jeho vnitřní složení na obrázku 23.



Obr. 22 Ruční svařovací hořák [29].



Obr. 23 Složení svařovacího hořáku [29].

Svařovací proud je spouštěn pomocí tlačítka na rukojeti. Moderní hořáky obsahují regulační tlačítka či potenciometry pro plynulé ovládání intenzity svařovacího proudu.

c) Ochranný plyn – plní velice důležitou úlohu – chrání tavnou lázeň před vlivy okolní atmosféry. Vzdušný kyslík v kontaktu s tavnou lázní způsobuje oxidaci, naplynění, pórovitost svaru a propal prvků. Ochranný plyn také významně ovlivňuje přenos tepelné energie do svaru, typ přenosu kovu, hloubku závaru, chování tavné lázně, rychlost svařování a další parametry. Také svým množstvím a složením ovlivňuje další charakteristiky svařování:

- vznik ionizovaného prostředí pro dobrý start a hoření oblouku,
- metalurgické děje po celou dobu svařování,
- tvar a rozměry oblouku,
- tvar a rozměry svaru,
- kvalitu a mechanické vlastnosti svaru,

- síly působící v oblouku,
- charakter přenosu kovu spolu s tvarem kapek.

Pro metodu MAG se využívá buď čistého CO<sub>2</sub>, nebo čím dál více využívaných vícesložkových plynů se základem Argonu. Vliv jednotlivých druhů plynů na svařování je následující:

- Oxid uhličitý CO<sub>2</sub>
  - vysoká tepelná vodivost,
  - dobré natavení svarových hran,
  - hluboký průvar s oválným profilem svarové housenky,
  - dobré odplynění svarové lázně,
  - způsobuje rozstřík odtavených kapek,
  - čistota plynu min. 99,5 %,
  - vysoký obsah oxidů ve svaru a strusky na povrchu.
- Kyslík O<sub>2</sub>
  - nehořlavý plyn podporující oxidační hoření,
  - výrazně zvyšuje tekutost svarové lázně,
  - zvyšuje povrchové napětí roztaveného kovu,
  - zlepšuje odplynění svarové lázně a profil svarové housenky,
  - použití ve směsi s argonem v rozsahu 0,03 – 3 % nebo směs s argonem a oxidem uhličitým v rozsahu 1 – 8 %.
- Směsný plyn Ar + 15 až 25 % CO<sub>2</sub>
  - v praxi nejpoužívanější plyn,
  - velmi dobré svařovací vlastnosti,
  - stabilní elektrický oblouk a hluboký závar,
  - zkratový i sprchový přenos kovu,
  - malý rozstřík kovu,
  - hladký povrch svaru,
  - pro svařování nelegovaných a nízkolegovaných ocelí použití Ar + 18% CO<sub>2</sub>.

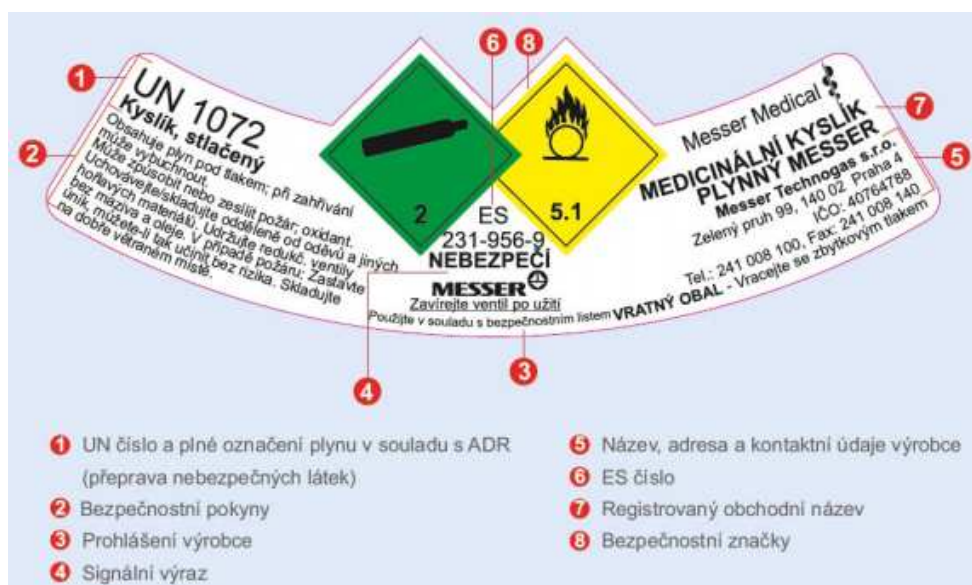
➤ Směsný plyn Ar + 8 % CO<sub>2</sub>

- optimální pro impulsní a sprchový přenos kovu,
- vhodný pro vysokovýkonné metody při vysokých proudech,
- vysoká rychlost svařování,
- plochý svar,
- nízký rozstřík a minimální tvorba strusky,
- pro ruční i mechanizované svařování.

➤ Směsný plyn Ar + 5 až 13 % CO<sub>2</sub> + 5 % O<sub>2</sub>

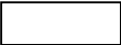



- klidný svařovací proces s měkkým svařovacím obloukem,
- hladké a čisté svary,
- díky kyslíku velmi dobrá tekutost lázně a výborné odplynění,
- sprchový přenos kovu i při nižších proudech,
- přednostně pro mechanizované svařování.

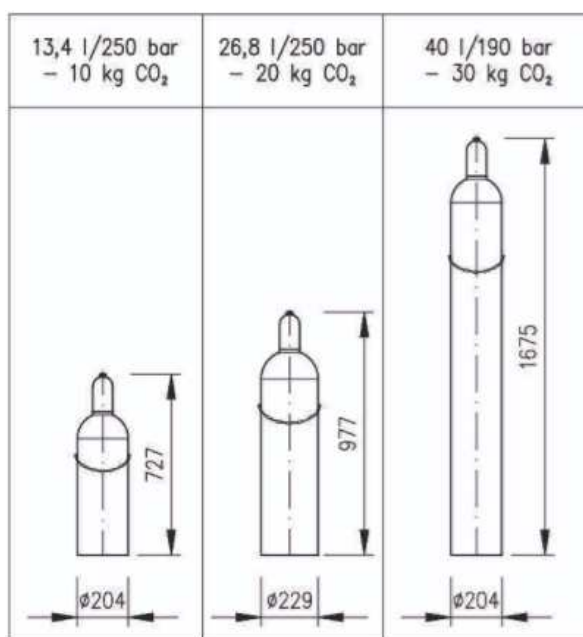
Ochranné plyny se dodávají v tlakových lahvích, které jsou značeny dle normy ČSN EN 1089-3:2012 štítkem s údaji o příslušném plynu (obr. 24). Pro přibližnou orientaci slouží barevné značení láhví, které je uvedeno v tabulce 6. Na obrázku 25 jsou zobrazeny tlakové lahve s oxidem uhličitým včetně údajů o objemu, tlaku a hmotnosti plynu v láhvi.



Obr. 24 Štítek s označením plynové láhve [30].

Tab. 6 Barevné značení tlakových láhví u vybraných plynů [30].

| Plyn           | Značka          | Barevné značení   |
|----------------|-----------------|---|
| Kyslík         | O <sub>2</sub>  | Bílá           |
| Oxid Uhličitý  | CO <sub>2</sub> | Šedá           |
| Argon          | Ar              | Tmavě zelená   |
| Argonové směsi | -               | Světle zelená  |



Obr. 25 Tlakové láhve s CO<sub>2</sub> [31].

- d) Přídavný materiál – je ve formě plného drátu navinut na drátovou či plastovou cívku (obr. 26). Hmotnost navinutého drátu se liší dle jednotlivých cívek. Nejčastěji se využívá cívka s hmotností drátu cca 15 kg. Základní druhy cívek jsou uvedeny v tabulce 7. Pro menší svářečky či pro netypický drát, kterého není potřeba velké množství, lze využít i menších cívek.

Tab. 7 Druhy cívek s přídavným drátem [32].

| Vnější průměr [mm] | Vnitřní průměr [mm] | Šířka [mm] | Hmotnost návinu [kg] |
|--------------------|---------------------|------------|----------------------|
| 300                | 180                 | 100        | 15 - 18              |
| 300                | 53                  | 100        | 15 - 18              |
| 200                | 53                  | 65         | 5                    |
| 100                | 16                  | 45         | 1                    |



Při svařování pomocí automatů či robotů může být i 18 kilogramová cívka nedostačující. Proto se využívá tzv. sudů. Firma Esab tyto sudy nazývá Marathon pac (obr. 27). Jeden tento sud může obsahovat 100 až 500 kg, však nejčastěji se využívají sudy s 200 až 250 kg svařovacího drátu.

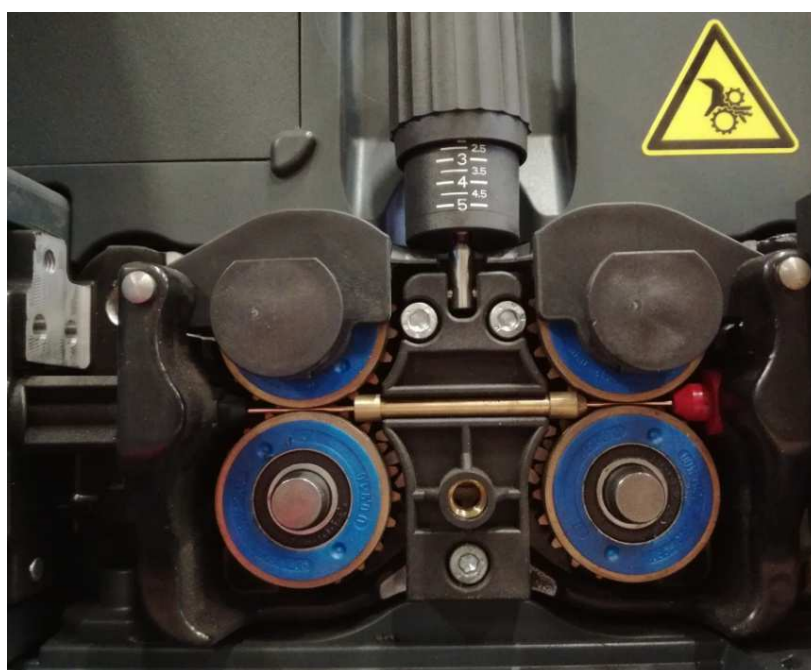


Obr. 26 Cívky přídatného materiálu [32].



Obr. 27 Marathon pac firmy Esab [33].

Dodávané průměry drátů jsou 0,8; 1,0; 1,2 případně 1,6 mm. Dle průměru používaného drátu se musí správně zvolit podávací kladky v podávacím zařízení, které mají na obvodu drážku přesně dle zvoleného drátu tak, aby neprokluzoval a byl podáván kontinuálně. Kladkové ústrojí je zobrazeno na obrázku 28.

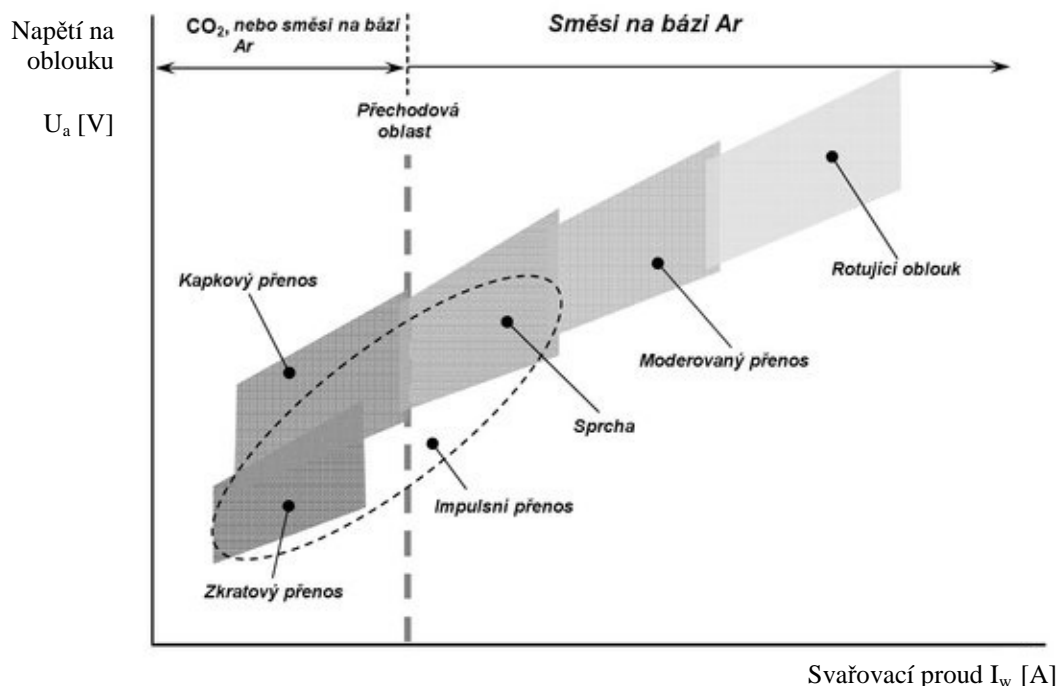


Obr. 28 Kladkové ústrojí pro podávání svařovacího drátu.



### 2.3.2 Přenos kovu v oblouku [7], [27], [34]

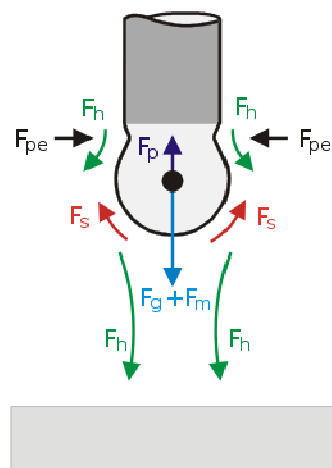
Přenos kovu v oblouku se řadí mezi základní charakteristiky metody svařování elektrickým obloukem pomocí tavící se elektrody. Přenos kovu závisí především na proudu a napětí ale je ovlivněn také složením ochranného plynu, druhem přídavného materiálu a technikou svařování. Jednotlivé typy přenosu kovu v oblouku jsou na obrázku 29. Dále jsou na obrázku 30 zobrazeny síly, které působí na odtavovanou kapku přídavného materiálu. Velikost těchto sil je ovlivněna svařovacími parametry.



Obr. 29 Typy přenosu kovu v elektrickém oblouku [26].

- Zkratový přenos – probíhá při nastavení svařovacího proudu na hodnotu mezi 60 až 180 A a napětím 14 – 22 V. Výkon navaření se při daných parametrech pohybuje mezi 1 až 3 kg·hod<sup>-1</sup>. Principem zkratového přenosu je odtavení kapky kovu z elektrody, která vyplňuje mezeru mezi elektrodou a svarovou lázní. Následně oblouk zhasne a dojde k elektrickému zkratu, čímž se zvýší teplota a kapka se utrhne a dopadá do svarové lázně. Následně je oblouk zase zapálen. Frekvence oddělování kapek se pro drát o průměru 1,2 mm a napětí 27 V pohybuje okolo 5 kapek za sekundu. Lze jej využít ve všech ochranných plynech pro svařování tenkých plechů, kořenových vrstev tupých svarů a pro svařování v polohách.
- Kapkový přenos – lze označit rovněž jako přechodový dlouhý oblouk s nepravidelnými zkraty. Tento druh přenosu je realizován při proudu od 190 do 300 A a napětí 22 až 28 V. Vlivem vysokého proudu dochází k tvorbě velké kapky na konci elektrody, která se vlivem tlaku par vydouvá mimo osu drátu. Vlivem magnetických sil je přerušen můstek mezi elektrodou a kapkou a kapka je vymrštěna vysokou rychlostí do svarové lázně. Frekvence oddělování je 5 – 40 kapek za sekundu. Výrazněji se kapkový přenos kovu projevuje v CO<sub>2</sub> přičemž způsobuje velký rozstřík a hrubou svarovou housenku. Proto není doporučen k použití. Využívá se pro střední tloušťky materiálu.

- Sprchový přenos – nastává při hodnotách svařovacího proudu od 200 do 500 A a napětím od 28 do 40 V. Probíhá ve všech směsích plynů argonu s  $\text{CO}_2$  či  $\text{O}_2$ . Charakteristické pro sprchový přenos jsou drobné kapičky kovu. Při svařování v  $\text{CO}_2$  nelze tento typ přenosu realizovat, jelikož vlivem vysokého povrchového napětí nelze dosáhnout malých kapiček kovu. Jelikož oblouk nezhasíná, je do svarového kovu vnášeno velké množství tepla a tvoří se velký závar, který lineárně roste s hodnotou proudu. Hoření oblouku je klidné a dosahuje se velkého výkonu navaření, přibližně  $3 - 12 \text{ kg} \cdot \text{hod}^{-1}$ . Povrch svarové housenky, který plynule přechází do základního materiálu, je hladký a čistý. Využívá se pro výplňové housenky u středních a velkých tloušťek svarů avšak především jen ve vodorovné poloze.
- Impulsní přenos – je zvláštní forma bezzkratového přenosu kovu. Parametry impulsního přenosu překrývají oblasti přenosu zkratového a sprchového. Přenos kovu je řízen elektronickou cestou a má pravidelný cyklus, který je řízen frekvencí amplitudy impulsního proudu. Základní proud se pohybuje v rozmezí 20 až 50 A a jeho funkcí je udržení ionizace sloupce oblouku. Využití impulsního přenosu kovu je u svařování hliníku pro tloušťky plechu od 0,8 mm díky nízkému vnesenému teplu. Jako ochranný plyn se pro svařování uhlíkových ocelí používá směs Ar s 8 %  $\text{CO}_2$ , pro hliník se využívá čistý argon.
- Moderovaný přenos – probíhá při vysokých proudech 450 až 750 A. Napětí se pohybuje mezi hodnotami 40, až 50 V. Kvůli vysokým svařovacím parametrům je nutné nastavit také vysokou rychlost posuvu drátu (20 až  $45 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ ), z čehož plyne vysoký výkon odtavení – až  $25 \text{ kg} \cdot \text{hod}^{-1}$ . Ochrannou atmosférou je vhodný argon s 8 %  $\text{CO}_2$ . Tímto přenosem se dosahuje hlubokého a úzkého závaru.
- Rotující oblouk (přenos) – využívá téměř podobných podmínek, jako moderovaný přenos. Napětí oblouku se ovšem zvyšuje až na 65 V a volná délka drátu se zvyšuje na 20 mm. Volný drát je odporovým teplem předehříván téměř až na teplotu tavení a díky intenzivnímu silovému magnetickému poli je konec drátu roztáčen, čímž vzniká kuželová plocha z odtavujících se kapek kovu. Výsledkem je velmi dobrý závar a také hluboký a široký svar.



$F_s$  – povrchové napětí,  
 $F_p$  – tlak odpařovaných kovů,  
 $F_g$  – gravitační síla,  
 $F_m$  – elektromagnetická síla,  
 $F_h$  – hydrodynamická síla

Obr. 30 Síly působící na odtavující se kapku [34].

### 2.3.3 Parametry svařování [7]

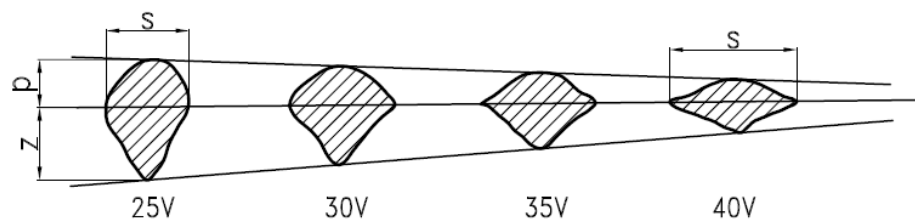
Vhodně zvolené parametry ovlivňují tvar svarové housenky. Vliv jednotlivých parametrů je následující.

- Svařovací napětí – má výrazný vliv na šířku svarové housenky, kdežto hloubku závaru téměř neovlivňuje. Svařovací napětí se samo mění dle délky oblouku a jeho základní nastavovaná hodnota lze vypočítat dle vztahu (2.10).

$$U = 15 + 0,035 \cdot I_s \quad (2.10)$$

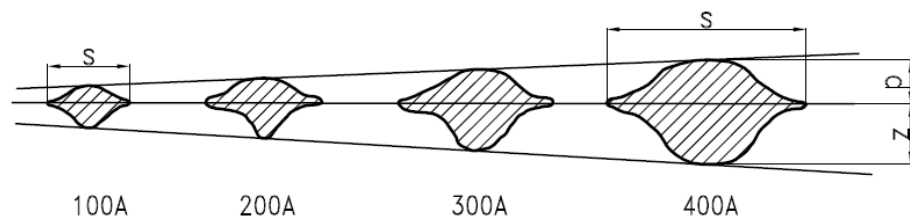
kde:  $U$  [V] - pracovní napětí,  
 $I_s$  [A] - svařovací proud.

Nastavená hodnota napětí lze měnit jen nepatrně, jelikož jeho změna má výrazný vliv na typ přenosu kovu v oblouku. Příliš vysoké napětí zvyšuje délku oblouku, což má za následek propal prvků, větší rozstřík a náchylnost svarů k pórovitosti. Svarová lázeň je při vysokém napětí široká a mělká. Naopak při nastavení nízkého napětí vznikají úzké housenky, které mají velké převýšení. Také může docházet ke špatnému natavení svarových hran nebo ke studeným spojům při vícevrstvě svařování. Ovlivnění tvaru housenky napětím je zobrazeno na obrázku 31.



Obr. 31 Vliv svařovacího napětí na tvar svarové housenky [7].

- Svařovací proud – má výrazný vliv na tvar průřezu svarové housenky a také na charakter přenosu svarového kovu. Při rostoucím proudu roste také velikost a tekutost svarové lázně, proudová hustota, součinitel roztavení a také odtavovací výkon. Při zvyšujícím se proudu a konstantním napětí výrazně roste hloubka závaru a nepatrně se zvětšuje šířka a převýšení housenky. Vliv proudu na průřez svarové housenky je na obrázku 32. Velikost nastavovaného proudu se v praxi provádí buď dle zkušeností svářeče, nebo dle tabulky. Orientační hodnoty jsou uvedeny v tabulce 8.



Obr. 32 Vliv svařovacího proudu na tvar svarové housenky [7].

Tab. 8 Orientační hodnoty parametrů svařování oceli pro metodu MAG [7].

| Typ svaru           | Tloušťka plechu | Průměr elektrody | Výkon navaření     | Rychlost posuvu drátu | Svařovací proud | Rychlost svařování   |
|---------------------|-----------------|------------------|--------------------|-----------------------|-----------------|----------------------|
|                     | mm              | mm               | kg·h <sup>-1</sup> | m·min <sup>-1</sup>   | A               | cm·min <sup>-1</sup> |
| <b>V svar</b>       | 4               | 1,0              | 2,2                | 6,4                   | 160             | 40                   |
|                     | 5               | 1,0              | 2,2                | 6,4                   | 160             | 28                   |
|                     | 6               | 1,0/1,0          | 2,1/2,9            | 6,8/8,5               | 150/200         | 60/43                |
|                     | 8               | 1,0/1,2          | 2,1/3,9            | 6,0/7,6               | 150/260         | 43/28                |
|                     | 10              | 1,0/1,2          | 2,1/5,1            | 6,0/10,0              | 150/320         | 35/21                |
| <b>Koutový svar</b> | 2               | 0,6              | 1,2                | 8,4                   | 70              | 40                   |
|                     | 2               | 0,8              | 1,6                | 6,8                   | 110             | 53                   |
|                     | 3               | 0,8              | 1,9                | 8,3                   | 130             | 32                   |
|                     | 3               | 1,               | 2,4                | 7,0                   | 170             | 40                   |
|                     | 4               | 1,0              | 2,7                | 8,2                   | 190             | 28                   |
|                     | 5               | 1,2              | 3,9                | 7,8                   | 260             | 26                   |
|                     | 6               | 1,2              | 3,9                | 7,8                   | 260             | 20                   |
|                     | 6               | 1,2              | 4,8                | 9,5                   | 300             | 22                   |
|                     | 8               | 1,2              | 4,8                | 9,5                   | 300             | 14                   |

Rychlost svařování se v praxi stanovuje výpočtem dle vztahu (2.11).

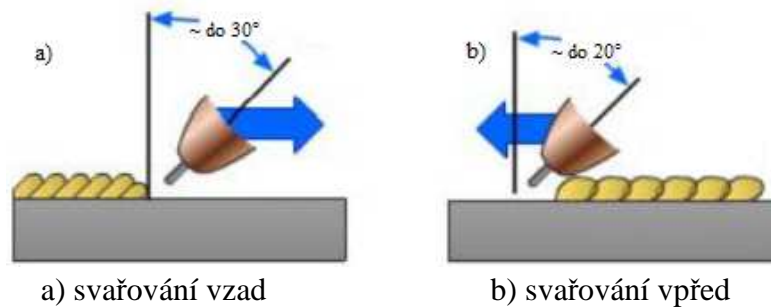
$$v = \frac{l}{t} \quad [\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (2.11)$$

kde:  $v$   $[\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}]$  - rychlost svařování,  
 $l$   $[\text{mm}]$  - délka svaru,  
 $t$   $[\text{s}]$  - čas svařování.

#### 2.3.4 Technika svařování [7], [27]

Technikou svařování se rozumí způsob vedení hořáku. Pro ruční svařování lze využít techniku svařování vpřed nebo vzad. Při svařování mechanizovaném se hořák obvykle nachází v poloze kolmé k rovině svaru. Při ručním svařování kořenových housenek se využívá přímého vedení hořáku a pro výplňové housenky lze využít příčný či podélný rozkvy hořáku, čímž roste velikost tavné lázně, vnáší se více tepla do svaru a dochází k lepšímu odplynění svaru. Na obrázku 33 je zobrazeno svařování vpřed a vzad.

- Svařovací technika vpřed má následující charakteristiky:
  - dokonalý výhled do úkosu,
  - dobré ovládání svarové lázně,
  - hubice zakrývá výhled na housenku,
  - nižší převýšení svaru,
  - nebezpečí vzniku studeného spoje vlivem předbílání svarové lázně,
  - dokonalý předeřev svarových ploch,
  - přibližně o 20 % menší hloubka závaru,
  - použití pro tenké plechy, kořeny svarů a běžné svařování.
- Svařovací technika vzad má následující charakteristiky:
  - stabilnější elektrický oblouk,
  - užší svarová housenka,
  - hubice zakrývá výhled do úkosu,
  - větší převýšení svaru a hloubka závaru,
  - hrubší povrch housenky,
  - menší pórovitost díky delší době tekutosti svarové lázně,
  - bez studených spojů a neprůvarů,
  - použití pro krycí vrstvy tupých svarů, větší tloušťky materiálu,
  - nevhodné pro kořen svaru z důvodu možnosti propadnutí svarové lázně.



Obr. 33 Technika svařování [27].

## 2.4 Zaváděná metoda svařování [10], [11], [35], [36], [37]

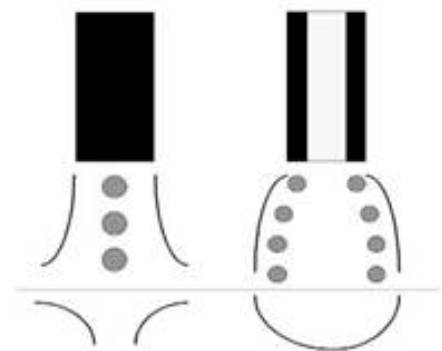
Snahou firmy je zefektivnění svařovacích procesů, čehož by mělo být dosaženo zavedením metody Flux Cored Arc Welding (FCAW), v překladu obloukové svařování plněnou elektrodou. V praxi je častěji užíváno označení svařování trubičkovým drátem s číselným označením 114, 136 nebo 138.

Metoda FCAW je v zásadě stejná jako metoda MAG, jelikož lze využít stejného svařovacího zdroje a stejný ochranný plyn. Jediný a přesto zásadní rozdíl těchto metod je v přídavném materiálu. Zatímco u metody MAG se využívá plný drát, u metody FCAW je přídavným materiálem trubičkový drát, který je vyplněn práškem – jádrem.

Zásadním rozdílem mezi plným a plněným drátem je styl tavení drátu. Oproti plnému drátu je u drátu trubičkového veden proud značně menším průřezem (kovovým pláštěm) a zároveň prášek uvnitř drátu představuje pro tok proudu značný odpor, což má za následek vyšší proudovou hustotu. Díky vysoké proudové hustotě je poté tvořen bezrozstříkový sprchový oblouk s jemnými kapičkami přídavného materiálu. Oproti plnému drátu vzniká značně širší oblouk, který má za následek široký profil závaru. Srovnání oblouků a přenosu kovu je zobrazeno na obrázku 34. Při využití trubičkového drátu je rovněž nutné zvýšit posuv drátu, přičemž hodnota ampér zůstává stejná. To má za následek menší vnesené teplo do svaru.

Využití trubičkového drátu má následující výhody:

- hlubší závar,
- malý rozstřík,
- zvýšená kvalita svaru,
- nízká náchylnost k tvorbě pórů,
- možnost legování svarového kovu,
- vyšší výkon odtavení (až 40% navýšení),
- menší vnesené teplo do svaru a základního materiálu.



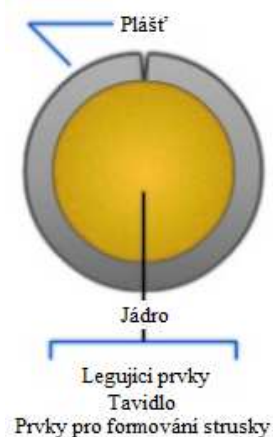
Obr. 34 Přenos kovu u plného a trubičkového drátu [36].

### 2.4.1 Trubičkový drát [10], [35], [36], [37]

Trubičkový drát (obr. 35) je složen z kovového pláště a jádra, které je složeno ze směsi minerálů, rud, kovových prášků, feroslitin, chemikálií a dalších přísad. Účelem jednotlivých přísad v jádru je ochrana svarového kovu před vzduchem, legování svaru, odkysličování, stabilizace oblouku atd. S tím souvisí rozdělení trubičkových drátů na dráty vytvářející při hoření vlastní ochrannou atmosféru (tzv. dráty s vlastní ochranou) a dráty, které se používají pro svařování v ochranném plynu. S tím je spojeno také číselné označení metody. Trubičky s vlastní ochranou jsou označovány číslem 114, číslo 136 označuje obloukové svařování plněnou elektrodou v aktivním plynu s basicou nebo rutilovou náplní a plněná elektroda kovovým práškem, která také využívá ochranného plynu, se označuje 138.

Jádro trubičkového drátu může být trojího typu – rutilové, basicé a kovový prášek. Dráty s rutilovým a basicým jádrem tvoří strusku, naopak drát s kovovým práškem strusku netvoří.

- Plněná elektroda s kovovou náplní – se využívá pro svařování všech typů ocelí hlavně ve svislých polohách svařování (PA, PB, PC dle normy ČSN EN ISO 6947:2011). U tohoto drátu nedochází k rozstříku svarového kovu a k tvorbě strusky, čímž odpadá nutnost čištění svaru. Zajišťuje velký průvar s minimem defektů a je vhodná pro jedno i vícevrstvé svařování. Dosahuje výborných mechanických vlastností. Při velké vzdálenosti hubice od svařovaných ploch se zvyšuje náchylnost k tvorbě pórů.
- Plněná elektroda s rutilovou náplní – se řadí mezi struskotvorné plněné dráty. Kvůli tvorbě strusky je doporučeno svařovat technikou tažení, aby nevznikaly struskové vměstky. Elektrody jsou vyráběny s rychle nebo pomalu tuhnoucí náplní. Rychle tuhnoucí náplň je vhodná pro svařování ve svislých polohách (PE, PD, PF dle normy ČSN EN ISO 6947:2011) a tvoří výraznější kresbu na povrchu svaru. Naopak pomalu tuhnoucí náplň vlivem stejné rychlosti tuhnutí svaru a strusky neformuje povrch svaru a výsledný povrch je bez kresby.
- Plněná elektroda s basicou náplní – při svařování rovněž tvoří strusku. Basicé prvky pozitivně ovlivňují mechanické hodnoty svarového kovu a zároveň snižují výskyt pórů a studených spojů.



Obr. 35 Struktura trubičkového drátu [35].

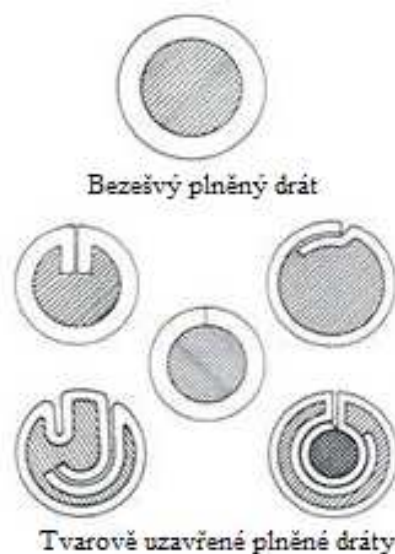
Z hlediska konstrukce existuje mnoho druhů plněných drátů, což lze vidět na obrázku 36. Díky zavedení části pláště drátu do jádra se dosahuje rovnoměrnějšího tavení a účinnější ochrany kovu před vzduchem. Nejpoužívanější typy jsou však dráty falcované se švem a dráty svařované bezešvé.

Oproti falcovaným drátům mají bezešvé svařované dráty řadu výhod:

- větší tuhost trubičky,
- silnější plášť trubičky,
- poměděná a leštěná,

- není nutno přesušovat,
- dobrý průchod bowdenem,
- spolehlivě vede i dvoukladková mechanika,
- výroba od průměru 1 mm.

Výroba plněného drátu začíná tvarováním kovového pásku, který je vysokofrekvenčně svařen a rekrystalizačně žíhán s následnou kalibrací rozměru. Následuje plnění vzniklé trubičky a tažení na požadovaný průměr. Poslední operací je pomědění a leštění drátu.



Obr. 36 Konstrukce trubičkového drátu [36].

#### 2.4.2 Polohovadlo [38]

Součástí zaváděné automatizace pro svařování ve firmě je také využití polohovadla. Jelikož se jedná o rotační svařence s tupým a koutovým svařem, bylo nutné zakoupit polohovadlo, které umožní výrobu daných dílů. Po konzultacích a výběru z polohovadel nabízených na trhu bylo zakoupeno polohovadlo RWP MILLER 1050.1221 Mk. II (obr. 37) od firmy HST Creative.



Obr. 37 Polohovadlo RWP MILLER 1050.1221 Mk. II [38].



Jedná se o zařízení, které je určeno pro svařování rotačních dílců s možností naklápění celého rotátoru, na kterém je upevněno univerzální sklíčidlo nebo pracovní deska s radiálními drážkami pro upevnění svařence. Naklápění je v rozsahu 0 – 90°, což zajišťuje nalezení optimální svařovací polohy pro dané typy svarů. Součástí polohovadla je také pneumaticky řízené rameno pro uchycení svařovacího hořáku.

Polohovadlo je propojeno se svařovacím zdrojem, což umožňuje ovládání celého procesu svařování pomocí ovládacího panelu polohovadla. Pomocí řídicího systému lze plynule řídit otáčení doleva či doprava, řídit zpoždění svařování (svářečka je sepnuta, ale rotace polohovadla čeká 0 – 14 sec.) či nastavit úhel otočení vřetene pro přesné ukončení či napojení svaru.

Princip práce je následující: Po sešlápnutí spínacího pedálu dochází k příklonu pneumatického ramene se svařovacím hořákem do místa svařování, sepnutí svářečky a spuštění rotace vřetene. Po dokončení nastavené rotace v rozmezí 359° - 382° se vypne svářečka a rotace vřetene a pneumatické rameno se odkloní od svaru pro lepší manipulaci se svařencem.

Základní technické údaje stroje jsou uvedeny v tabulce 9. Kompletní technické údaje od výrobce jsou v příloze 4.

Tab. 9 Technické údaje polohovadla RWP MILLER 1050.1221 Mk. II [38].

| Popis                                     | Hodnota                |
|---|------------------------|
| Maximální nosnost statická                | 1 700 Kg               |
| Točivý moment na hřídeli hlavního vřetene | 2 585,5 Nm             |
| Rozsah otáček hlavního vřetene            | 0,01 – 2,8 ot/min      |
| Rotace hlavního vřetene                   | Programově řízeno      |
| Elevace hlavního vřetene                  | 0 – 90°                |
| Vřetenem přenášený proud pro DC napětí    | 550 A                  |
| Výška x šířka x hloubka                   | 983 x 1 251 x 1 935 mm |
| Hmotnost (bez upínacího prvku)            | 350 Kg                 |

### 2.4.3 Svařovací zdroj [39]

Součástí zaváděné technologie je také přechod na nový svařovací zdroj. Byl vybrán zdroj TPS 500i (obr. 38) od firmy Fronius. Tento zdroj patří mezi nejmodernější stroje v oblasti svařování. Oproti starým modelům má vylepšené svařovací vlastnosti a díky modulární koncepci jej lze snadno přizpůsobit dle individuálních potřeb. Standardní přístroj lze snadno rozšířit na pulzní svařovací zdroj. Ovládání je řízeno přes dotykový displej. Výhodou jsou také přednastavené svařovací programy dle zvoleného drátu a druhu ochranného plynu. Kompletní technické údaje zdroje jsou v příloze 5, ty základní jsou následující:

- Síťová frekvence: 50 / 60 Hz
- Svařovací proud: 3 – 500 A
- Výstupní napětí: 14,2 – 39,0 V
- Napětí naprázdno: 71 V
- Hmotnost: 38 kg



Obr. 38 Svařovací zdroj Fronius TPS 500i [39].

### 3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Součástí zavádění nové svařovací technologie do výrobního procesu je kvalifikace dané technologie svařování, což opravňuje firmu k následnému používání této metody. Také pokud je pro zhotovení svařence využito polohovadla či jiného zařízení, svářeč či operátor musí mít kvalifikaci pro obsluhu daného stroje. Kvalifikace svařování trubičkovým drátem na polohovadle RWP MILLER 1050.1221 Mk. II je obsahem praktické části této diplomové práce.

#### 3.1 Stanovení svařitelnosti

Vhodnost zvoleného materiálu ke svařování se určí dle uhlíkového ekvivalentu, který se vypočítá dle vzorce (2.3). Pro výpočet uhlíkového ekvivalentu jsou využity hodnoty z materiálových atestů, které jsou v příloze 3 a 4.

- Uhlíkový ekvivalent oceli P355N:

$$C_{E1} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{16} = 0,15 + \frac{1,2}{6} + \frac{0,04 + 0 + 0,074}{5} + \frac{0,02 + 0,08}{16} = \underline{\underline{0,38 \%}}$$

- Uhlíkový ekvivalent oceli S355N:

$$C_{E2} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{16} = 0,15 + \frac{1,4}{6} + \frac{0,01 + 0 + 0,004}{5} + \frac{0 + 0,02}{16} = \underline{\underline{0,39 \%}}$$

Vypočtené hodnoty  $C_E$  jsou porovnány s hodnotami v tabulce 5. Jelikož hodnota uhlíku ve svařovaných ocelích nepřesahuje 0,2 hm. % a tloušťka svařovaných materiálů je menší než 35 mm, není nutné aplikovat předehřev ani žíhání na snížení pnutí po svařování.

I když bylo zjištěno, že není nutné materiál předehřívat, lze pro ověření vypočítat teplotu předehřevu dle vztahu (2.9), čemuž předchází výpočet uhlíkového ekvivalentu CET dle vztahu (2.8). Výpočet je proveden pro materiál P355N.

- Uhlíkový ekvivalent

$$CET = C + \frac{Mn + Mo}{10} + \frac{Cr + Cu}{20} + \frac{Ni}{40} = 0,15 + \frac{1,2 + 0}{10} + \frac{0,04 + 0,08}{20} + \frac{0,02}{40} = \underline{\underline{0,2765 \%}}$$

- Teplota předehřevu

$$\begin{aligned} T_p &= 697 \cdot CET + 160 \cdot \tanh\left(\frac{d}{35}\right) + 62 \cdot HD^{0,35} + (53 \cdot CET - 32) \cdot Q - 328 = \\ &= 697 \cdot 0,2765 + 160 \cdot \tanh\left(\frac{30}{35}\right) + 62 \cdot 5^{0,35} + (53 \cdot 0,2765 - 32) \cdot 1,98 - 328 = \underline{\underline{50,4 ^\circ C}} \end{aligned}$$

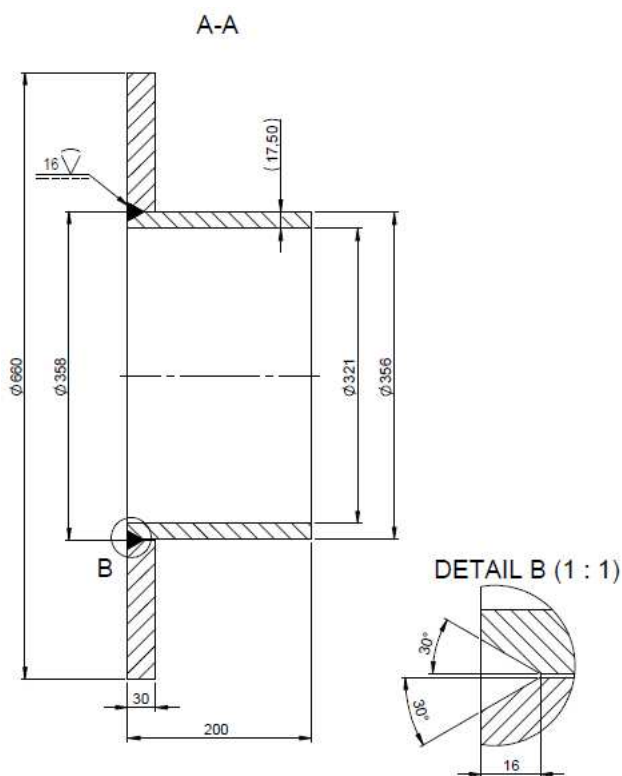
Z výpočtu lze vidět, že teplota předehřevu není vysoká, proto není nutné materiál před svařením předehřívat. Pro výpočet bylo využito tepelného příkonu vypočteného ze skutečného svařování na firmě pomocí trubičkového drátu. Hodnota obsahu vodíku ve svarovém kovu byla stanovena dle normy ČSN EN 1011-2:2002 na hodnotu 5 ml/100g, což odpovídá svařování trubičkovým drátem.

### 3.2 Kvalifikace svařovací technologie [40], [41], [42], [43], [44], [45]

Kvalifikace dle normy ČSN EN ISO 15613:2005 se provádí na určitém typu svaru konkrétního výrobku, přičemž firma je následně oprávněna tento typ svaru používat i pro jiné výrobky v rozsahu kvalifikace. Svar dvou trubek na tupo – svar typu V – zahrnuje kvalifikaci tupých i koutových svarů, je tudíž nejvýhodnější provedení tohoto svaru. Velikost kvalifikovaného svaru a rovněž velikost svařovaného kusu (tloušťka materiálu a průměr trubky) je rozhodující, jelikož platná kvalifikace je poté od poloviny do dvounásobku tloušťky materiálu, přičemž průměr trubky je omezen pouze poloviční spodní hodnotou. Také velikost svaru je od poloviny do dvounásobku. Příkladem budiž tupý V svar velikosti 12 na trubce o průměru 200 mm a tloušťce stěny 16 mm. Daná kvalifikace poté bude platit pro V svary velikosti 6 až 24 a průměr trubky od 100 mm výše (bez horního omezení) s tloušťkou stěny 8 až 32 mm.

Po konzultacích s firmou bylo rozhodnuto, že kvalifikace na automatu bude provedena pouze pro tupý V svar, který je mezi přírubou a trubkou montážní vložky DN300 PN16, jelikož pro koutový svar již firma kvalifikaci má a z důvodu obtížné manipulace se svařovacím ramenem polohovadla se předpokládá využití zaváděné technologie pouze pro tento typ svaru. Kvůli požadavku vyšších rozsahů kvalifikace byl stanoven nový zkušební kus, jehož řez je zobrazen na obrázku 39. Základní rozměry zkušebního kusu s rozsahy platností následné kvalifikace jsou uvedeny v tabulce 10. Výkres svařence pro kvalifikaci je přiložen v zadní části práce pod číslem výkresu DP-01-161578.

Vyrobený zkušební kus upnutý na polohovadle a připravený pro kvalifikaci je zobrazen na obrázku 40.



Obr. 39 Zkušební kus pro kvalifikaci.

Tab. 10 Rozměry zkušebního kusu a rozsah kvalifikace.

| Hodnota        |      | Zkušební kus | Rozsah kvalifikace |
|----------------|------|--------------|--------------------|
| Průměr trubky  | [mm] | 356          | 178 a více         |
| Tloušťka stěny | [mm] | 17,5         | 8,75 - 35          |
| Velikost svaru | [-]  | 16           | 8 - 32             |



Obr. 40 Zkušební kus upnutý na polohovadle.

Kvalifikace svařovací technologie se řídí dle platných norem a má určitou posloupnost. Prvním krokem je stanovení předběžné specifikace postupu svařování (pWPS), která je navržena svařovacím dozorem a obsahuje všechny požadované proměnné (parametry, podmínky) potřebné pro kvalifikaci postupu. Stanovení pWPS se řídí dle norem ČSN EN ISO 15607:2004 a ČSN EN ISO 15609-1:2005.

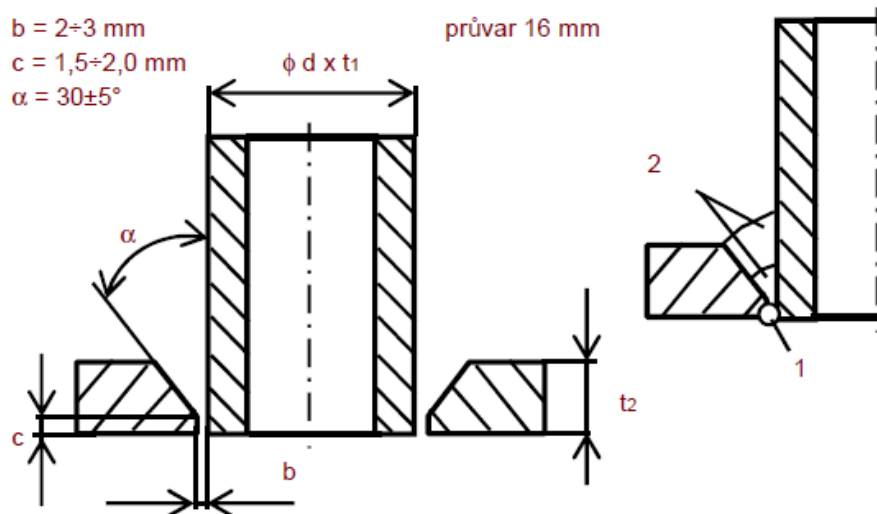
Zároveň s kvalifikací nové technologie, která je prováděna na novém stroji, dochází ke kvalifikaci operátora svařování dle normy ČSN EN ISO 14732:2014, která opravňuje operátora k obsluze stroje na dalších pět let.

Vytvořená pWPS pro kvalifikaci daného svaru ve firmě vychází převážně ze zkušeností svářeče a svařovacího dozoru a obsahuje tyto informace:

- Výrobce: EKOINVESTA spol. s r. o.
- Aplikace: EN ISO 15613
- Metoda svařování: 138
- Typ svaru: Tupý svar – strojní
- Základní materiál: S355J2H, S355J2+N

- Rozměry svařence:  $\phi 358$ , tloušťka 17,5 mm; tloušťka 30 mm
- Svařovací materiál:  $\phi 1,2$  mm; Megafil 710 M
- Ochranný plyn: Ar/CO<sub>2</sub> (82/18) – M21; 10 - 18 l·min<sup>-1</sup>
- Pozice svařování: PA
- Předehřev: Bez předehřevu
- Tepelné zpracování: Bez tepelného zpracování po svařování
- Teplota interpass: 300 °C
- Ochlazení po svařování: Klidný vzduch
- Výlet drátu: 17 mm
- Příprava úkosu: Mechanicky, obroušeno
- Svařovací parametry:
 

|       |                        |
|-------|------------------------|
| Kořen | 180 – 220 A; 26 – 28 V |
| Výplň | 210 – 250 A; 26 – 28 V |
| Krycí | 220 – 260 A; 26 – 28 V |
- Stehování: Ručně dle platné WPS
- Zdroj svařování: Fronius TPS 500i
- Svařovací automat: RWP Miller 1050.1221 Mk.II
- Tvar spoje:



Kompletní pWPS je v příloze 6.

Dalším krokem kvalifikace je samotné svaření zkušební kus, které musí probíhat za dozoru inspektora z certifikační organizace. Následně je zkušební kus podroben zkouškám dle příslušné normy ČSN EN ISO 15613:2005 a při vyhovění ve všech bodech je kvalifikační organizací vystaven protokol o kvalifikaci postupu svařování (WPQR), který zahrnuje všechny údaje nutné pro kvalifikaci (schválení) předběžné specifikace pWPS.

Pro svařování daného typu výrobků byl vybrán trubičkový drát plněný kovovou náplní od firmy WIRPO s obchodním označením Megafil ® 710 M. Tento trubičkový drát je vhodný pro svařování ocelových konstrukcí, tlakových nádob, potrubních dílů a tlakových rozvodů. Drát je výhodný pro využití se svařovacími roboty. Při svařování více vrstev není nutné čistit jednotlivé housenky od nečistot. Chemické složení drátu spolu s mechanickými vlastnostmi je uvedeno v tabulce 11. Materiálový list trubičkového drátu Megafil ® 710 M je v příloze 7.

Tab. 11 Chemické složení a mechanické vlastnosti trubičkového drátu Megafil 710 M [42].

| Megafil 710 M | C    | Mn  | Si  | P      | S      | Fe   | R <sub>p0,2</sub> [MPa] | R <sub>m</sub> [MPa] | A <sub>5</sub> [%] |
|---------------|------|-----|-----|--------|--------|------|-------------------------|----------------------|--------------------|
|               | 0,05 | 1,5 | 0,7 | ≤0,015 | ≤0,015 | rest | >460                    | >550-680             | 26                 |

Svařování proběhlo v prostorách firmy EKOINVESTA za dozoru inspektora z certifikační společnosti TUV SÚD. Samotná kvalifikace se řídí dle normy ČSN EN ISO 15613:2005, která slouží pro kvalifikaci na základě předvýrobní zkoušky svařování. Obrázek 41 zobrazuje svařovací proces. Pro zhotovení požadovaného svaru bylo zhotoveno pět svarových housenek – kořen, dvě výplňové vrstvy a dvě krycí vrstvy. V tabulce 12 jsou zaznamenány svařovací parametry pro jednotlivé housenky.

Tab. 12 Záznam svařovacích parametrů.

| Svarová housenka | Proud [A] | Napětí [V] | Rychlost drátu [m/min] | Délka svaru [mm] | Čas [s] |
|------------------|-----------|------------|------------------------|------------------|---------|
| 1. Kořen         | 192       | 26,6       | 6,3                    | 1 125            | 212     |
| 2. Výplň         | 212       | 26,7       | 6,7                    | 1 130            | 337     |
| 3. Výplň         | 234       | 26,8       | 7,2                    | 1 135            | 343     |
| 4. Krycí         | 250       | 26,5       | 7,3                    | 1 140            | 409     |
| 5. Krycí         | 250       | 26,7       | 7,3                    | 1 140            | 423     |





Obr. 41 Svařování kvalifikovaného postupu svařování.

Výpočtem dle vztahu (2.1) je stanoven měrný příkon svařování  $Q$  při jednotlivých vrstvách. Dle vztahu (2.11) je vypočtena rychlost svařování. Uveden je výpočet pro kořenovou vrstvu, zbylé vypočtené hodnoty jsou v tabulce 13.

- Rychlost svařování

$$v = \frac{l}{t} = \frac{1\,125}{212} = \underline{\underline{5,31 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}}}$$



- Tepelný příkon

$$Q = k \cdot \frac{U \cdot I}{10^3 \cdot v} = 0,8 \cdot \frac{26,6 \cdot 192}{10^3 \cdot 5,31} = \underline{\underline{0,77 \text{ kJ} \cdot \text{mm}^{-1}}}$$

Součinitel tepelné účinnosti  $k$  byl pro svařování plněným drátem stanoven dle normy ČSN EN 1011-1:2009.

Tab. 13 Vypočtené hodnoty rychlosti svařování a svařovacího příkonu.

| Svarová housenka   |                        | 1. Kořen | 2. Výplň | 3. Výplň | 4. Krycí | 5. Krycí |
|--------------------|------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Rychlost svařování | [mm·s <sup>-1</sup> ]  | 5,31     | 3,35     | 3,31     | 2,79     | 2,7      |
| Tepelný příkon     | [kJ·mm <sup>-1</sup> ] | 0,77     | 1,35     | 1,52     | 1,90     | 1,98     |

Záznamový list svařování je uložen v příloze 8.

Dle požadavků normy byla po svaření na místě provedena vizuální a penetrační kontrola pro odhalení trhlin a povrchových vad ve svaru.

Penetrační zkouška proběhla za následujících podmínek:

- Odmašťovač: Diffu-Therm Reiniger BRE
- Detekční tekutina: Diffu-Therm Farbeindringmittel BDR
- Vývojka: Diffu-Therm Entwickler BEA
- Penetrační čas: 15 minut
- Čas vývojky: 15 minut
- Teplota: 15 °C

Vizuální i penetrační kontrola proběhla v pořádku. Záznamové listy těchto kontrol jsou v přílohách 9 a 10. Na obrázcích 42 a 43 je zobrazen průběh penetrační kontroly.

Zbýlé zkoušky jsou prováděny certifikační společností TÚV SÚD a jsou to:

- Zkoušky makrostruktury,
- Zkoušky tvrdosti.



Obr. 43 Nanesená detekční kapalina.



Obr. 42 Nanesená vývojka.

Pro následné zkoušky v TUV SÚD není nutné mít k dispozici celý svařenec, proto se provedl výřez pomocí autogenu a inspektor si odvezl pouze malý vzorek, který je pro kvalifikaci dostačující. Daný výřez je zobrazen na obrázcích 44 a 45.

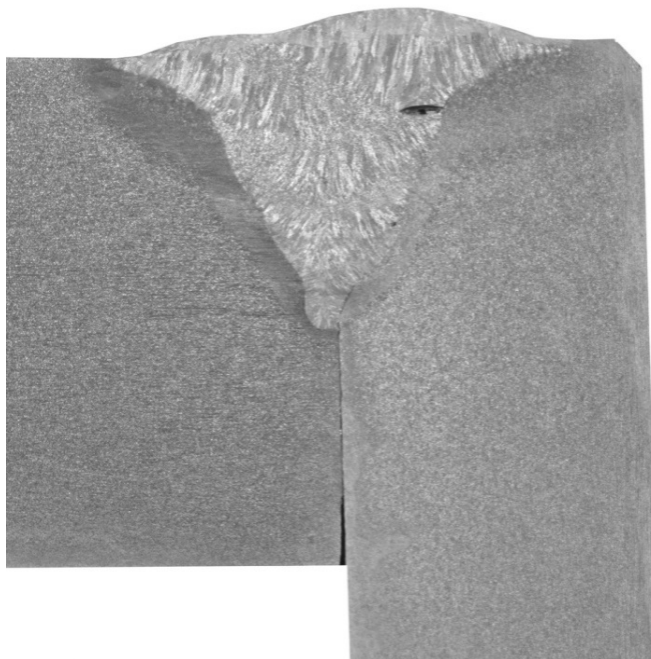


Obr. 45 Výřez pomocí autogenu.



Obr. 44 Výřez pro zkoušení.

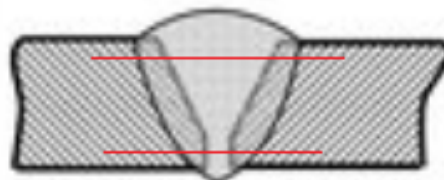
Po provedení vhodných úprav vzorku a jeho přebroušení a naleptání byla provedena zkouška makrostruktury, díky které se zjistila vada ve svaru. To je pro kvalifikaci nepřípustné a svar je tedy nevyhovující. Vlivem nalezení zmiňované vady, kterou může být neprůvar, studený spoj nebo například zavařená nečistota, již nebyla provedena zkouška tvrdosti. Makrostruktura svaru s nalezenou vadou je na obrázku 46.



Obr. 46 Makrostruktura svaru s vadou.

Z důvodu nalezení vady není možné danou technologii kvalifikovat a musí se zhotovit svar nový, který bude vyhovující. Z časových důvodů již nebylo možné zhotovit nový svařenec a kvalifikovat jej, jelikož certifikační společnost má na vyhodnocení zkoušek až 4 týdny. Proto byly vzorky s vadou od TUV SÚD převzaty a pro ověření svaru byla tvrdost naměřena zvlášť.

Zkoušení tvrdosti dle Vickerse se řídí dle normy ČSN EN ISO 15614-1:2018, která předepisuje zhotovení dvou řad vtisků. Jedna řada je umístěna 2 mm pod povrchem svaru a druhá řada 2 mm od spodní hrany kořene. Vtisky musí být umístěny tak, aby byly vyhodnoceny hodnoty tvrdosti v základním materiálu, v tepelně ovlivněné oblasti a ve svarovém kovu. Přesné rozmístění řad vtisků je popsáno normou ČSN EN ISO 9015-1:2011 a pro daný typ svaru je zobrazeno na obrázku 47.



Obr. 47 Umístění řad vtisků pro měření tvrdosti.

Naměřené hodnoty tvrdosti dle Vickerse HV5 jsou uvedeny v tabulce 14.

Tab. 14 Naměřené hodnoty tvrdosti.

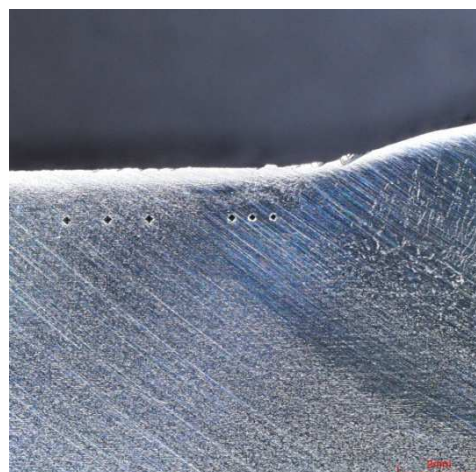
| Tvrdost dle Vickerse HV5 |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Číslo vtisku             | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     |
| Vrchní vrstva            | 171,4 | 170,4 | 172,6 | 225,9 | 285,1 | 346,8 | 183,8 | 186,3 | 194,8 |
| Kořenová vrstva          | 170,7 | 174,1 | 177,9 | 184,5 | 188,4 | 213,4 | 251,5 | 249,8 | 203,6 |

Vtisky 1, 2 a 3 jsou v základním materiálu, 4, 5, 6 v TOO. Svarový kov obsahuje vtisky 7, 8 a 9. Naměřené hodnoty jsou zobrazeny v následujících grafech 1 a 2.



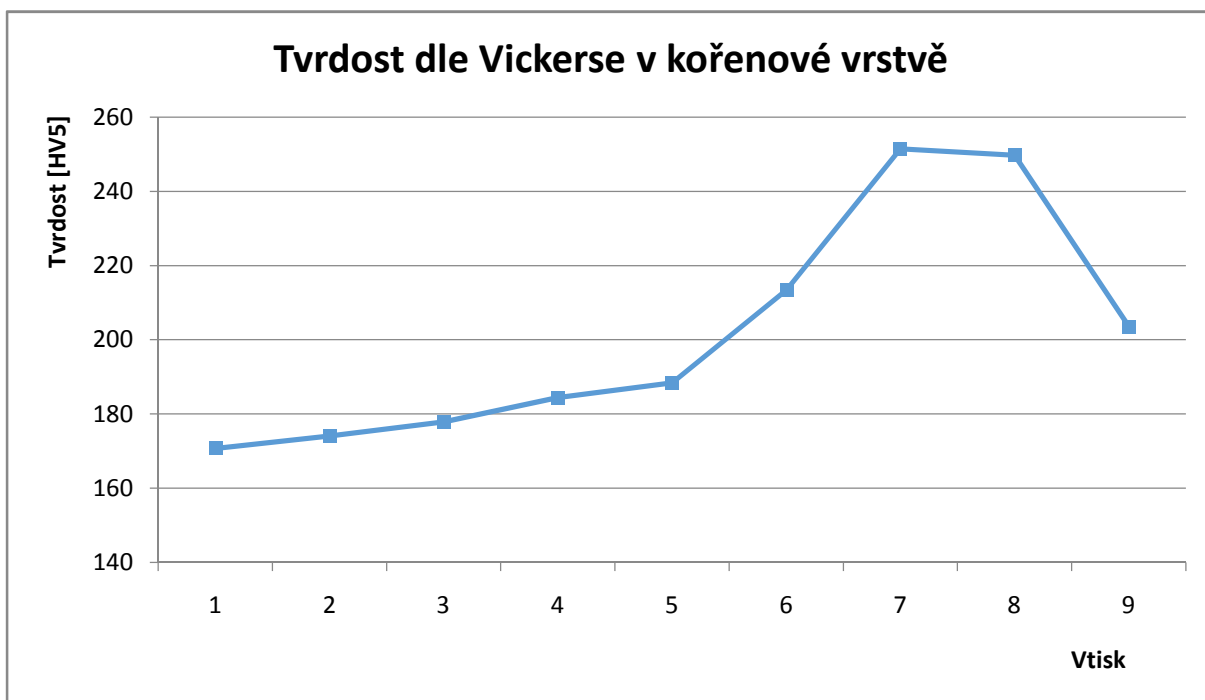
Graf 1 Tvrdost materiálu v podpovrchové vrstvě.

Z grafu 1 lze vidět téměř konstantní hodnoty tvrdosti v základním materiálu, strmý nárůst tvrdosti v TOO vlivem přeměny struktur a takřka konstantní hodnoty ve svarovém kovu, které jsou téměř shodné s hodnotami v ZM. Na obrázku 48 je zobrazeno prvních 6 vtisků z měření, zbylé vtisky jsou umístěny ve svarovém kovu.



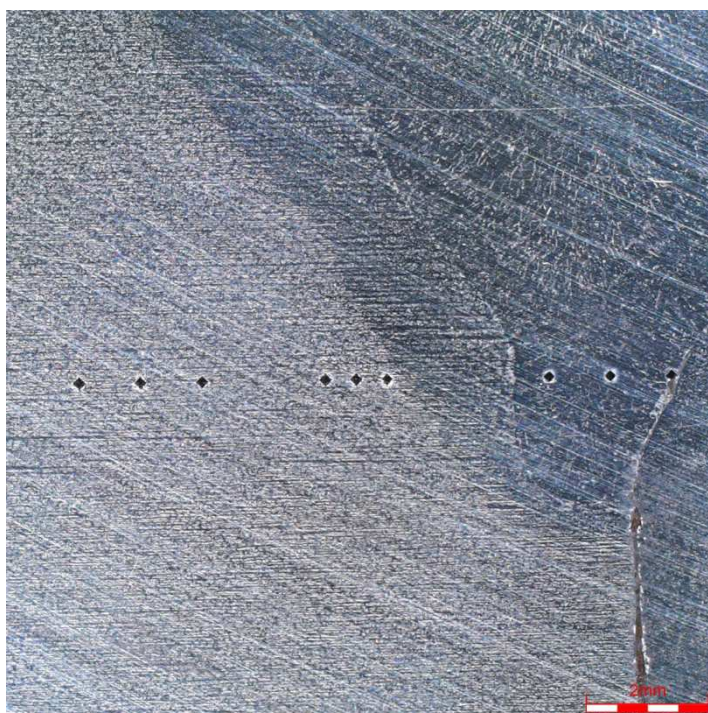
Obr. 48 Rozložení vtisků při měření tvrdosti - podpovrchová vrstva.





Graf 2 Tvrđost materiálu v kořenové vrstvě.

Z grafu 2 lze vidět mírný nárůst tvrdosti v bodech 4 a 5, což je přechod do TOO a zvýšenou tvrdost v bodě 6, který již je v TOO. Nejvyšší tvrdost byla naměřena ve svarovém kovu v bodech 7, 8 a 9. Rozdíl mezi body 7 a 8 je minimální, kdežto bod 9 již neodpovídá tvrdosti svarového kovu. To bylo způsobeno pravděpodobně vadou ve svaru. Rozložení vtisků při měření je zobrazeno na obrázku 49.



Obr. 49 Rozložení vtisků při měření tvrdosti - kořenová vrstva.

### 3.3 Zhodnocení výsledků

Stejný typ svaru byl následně svařen ručně dle klasického postupu. Bylo využito svařovacího zdroje SELCO Neomig 322 a plného svařovacího drátu G3Si1 o průměru 1 mm. Svářeč zhotovil daný svar na tři svarové housenky. Záznam svařovacích parametrů je v tabulce 15.

Tab. 15 Záznam svařovacích parametrů při ručním svařování.

| Svarová housenka | Proud [A] | Napětí [V] | Rychlost drátu [m/min] | Délka svaru [mm] | Čas [s] |
|------------------|-----------|------------|------------------------|------------------|---------|
| 1. Kořen         | 220       | 28,1       | 0,45                   | 1 125            | 255     |
| 2. Výplň         | 250       | 28,6       | 0,5                    | 1 130            | 400     |
| 3. Krycí         | 250       | 28,6       | 0,5                    | 1 140            | 370     |

Výpočtem byla stejně jako u zaváděné technologie stanovena rychlost svařování a tepelný příkon. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 16.

Tab. 16 Vypočtené hodnoty rychlosti svařování a tepelného příkonu pro ruční svařování.

| Svarová housenka   |                        | 1. Kořen | 2. Výplň | 3. Krycí |
|--------------------|------------------------|----------|----------|----------|
| Rychlost svařování | [mm·s <sup>-1</sup> ]  | 4,41     | 2,83     | 3,08     |
| Tepelný příkon     | [kJ·mm <sup>-1</sup> ] | 1,21     | 2,02     | 1,86     |

Pro lepší názornost jsou výsledky obou způsobů svařování uvedeny v tabulce 17.

Tab. 17 Srovnání FCAW a MAG svařování.

| Porovnání metod svařování | Automatizované FCAW svařování |                        |               | Ruční MAG svařování   |                        |               |
|---------------------------|-------------------------------|------------------------|---------------|-----------------------|------------------------|---------------|
|                           | Rychlost svařování            | Tepelný příkon         | Čas svařování | Rychlost svařování    | Tepelný příkon         | Čas svařování |
|                           | [mm·s <sup>-1</sup> ]         | [kJ·mm <sup>-1</sup> ] | [s]           | [mm·s <sup>-1</sup> ] | [kJ·mm <sup>-1</sup> ] | [s]           |
| 1. Vrstva                 | 5,31                          | 0,77                   | 212           | 4,41                  | 1,21                   | 255           |
| 2. Vrstva                 | 3,35                          | 1,35                   | 337           | 2,83                  | 2,02                   | 400           |
| 3. Vrstva                 | 3,31                          | 1,52                   | 343           | 3,08                  | 1,86                   | 370           |
| 4. Vrstva                 | 2,79                          | 1,90                   | 409           | -                     | -                      | -             |
| 5. Vrstva                 | 2,7                           | 1,98                   | 423           | -                     | -                      | -             |
| Celkem                    | -                             | 7,52                   | 1 724         | -                     | 5,09                   | 1 025         |

Z výsledků v tabulce 17 je zřejmé, že daný svar byl zhotoven rychleji ručně a to o 11 minut a 39 sekund, což je značný rozdíl. Důvodem je především to, že pomocí automatizované FCAW technologie bylo zhotoveno 5 svarových housenek, kdežto ručním svařováním pouze tři. Nižšího počtu housenek je dosaženo především díky možnosti rozkvyvu svařovacího hořáku v ruce svářeče. Nicméně pro adekvátní srovnání by muselo být využito polohovadla a automatického chodu svařování s plným drátem i pro metodu MAG. Poté by FCAW svařování bylo s velkou pravděpodobností efektivnější, jelikož při srovnání prvních třech housenek lze vidět, že automatizované FCAW svařování probíhalo rychleji a také s menším tepelným příkonem, což má za následek menší vnesené teplo do svaru.

Jelikož při svařování na daném polohovadle je hořák umístěn pouze do jedné pozice a není možné s ním pohybovat či dělat potřebný rozkvyv, je nutné dosáhnout efektivitu jinými způsoby. Trubičkový drát snese vyšší proudové zatížení, a proto při vyšších svařovacích parametrech je dosaženo vyššího odtavení drátu, což může mít za následek snížení počtu housenek pro zhotovení daného svaru. Rovněž se daná efektivita odvíjí od rychlosti otáčení polohovadla. Pro zefektivnění zaváděné metody svařování s využitím polohovadla jsou proto navrženy tyto změny:

- Zrychlení otáčení polohovadla,
- Odladění svařovacích parametrů pro rychlejší svařování na méně vrstev,
- Korekce délky oblouku,
- Snížení počtu svarových housenek (2-3 vrstvy) – případné použití většího průměru plněné elektrody ( $\phi$  1,6 mm),
- Úprava svarových ploch – menší úhel rozevření – zavřít na 45°,
- Čištění jednotlivých housenek a tím eliminace vad v makrostruktuře,
- Čištění svařovacího hořáku/aplikace spreje proti rozstříku, eliminace odpadnutí strusky z hořáku do svarové lázně,
- Po úspěšném dokončení kvalifikace postupu svařování (větší množství svarů na automatu), bude rovněž kvalifikován operátor svařování.

Tato doporučení budou v budoucnu ve firmě aplikována se snahou odladit celý svařovací proces tak, aby bylo výhodnější využití technologie FCAW místo stávající MAG.

Měřením tvrdosti bylo v TOO zjištěno maximum 346,83 HV5, což je pod maximální povolenou hodnotou 380 HV, která je určena normou ČSN EN ISO 15614-1:2018. Tím je ověřeno, že ocel není třeba předehřívát a tepelně zpracovávat po svařování.

#### 4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ [46], [47]

Při zavádění nové technologie do výrobního procesu je nutno počítat s poměrně vysokými náklady. V tomto případě se musí pořídit veškeré potřebné vybavení, čímž je polohovadlo, svařovací zdroj a zvolený trubičkový drát. Také vystavení kvalifikace od zkušební organizace, které opravňuje firmu k využívání zvolené technologie, se značně promítá do úvodních nákladů. V tabulce 18 jsou uvedeny pořizovací ceny jednotlivých položek.

Tab. 18 Náklady na pořízení a zavedení automatizované FCAW technologie.

| Položka                              | Cena [Kč]      |
|--------------------------------------|----------------|
| Polohovadlo RWP Miller s doplňky     | 429 000        |
| Svařovací zdroj                      | 210 000        |
| Trubičkový drát Megafil 710 M - 16kg | 1 248          |
| Kvalifikace metody svařování         | 24 800         |
| <b>Celkem</b>                        | <b>665 048</b> |

Po úspěšné kvalifikaci a zavedení nové technologie do výroby je důležité stanovit cenu, za kterou se bude daná technologie prodávat. Jedním ze způsobů, jak ji určit, je stanovení hodinové ceny za danou technologii. Do této kalkulace se započítává:

- Odpisy/leasing,
- Elektrická energie,
- Další média (plyny, stlačený vzduch),
- Mzda operátora,
- Nástroje a přípravky,
- Spotřební díly,
- Servis, údržba,
- Režie (provoz firmy, budova),
- Zisk.

Dalším způsobem jak stanovit cenu svařování je výpočet nákladů na 1 kg odtaveného svarového kovu. Z těchto hodnot lze následně dobře stanovit náklady na svaření určitého výrobku, pokud známe délky a velikosti jednotlivých svarů. Výpočet se skládá ze tří částí.



a) Mzdové a režijní náklady vztažené na svářeče

$$N_1 = \frac{S_{sv}}{G_{tav} \cdot t_{vyuz}} = \frac{500}{6 \cdot 0,5} = \underline{\underline{166,7 \text{ Kč} \cdot \text{kg}^{-1}}}$$

- kde:  $S_{sv}$  - Hodinová sazba svářeče [Kč/hod]  
 - mzdové náklady + odvody z mezd + režijní náklady  
 - běžně kolem 300 až 600 Kč/hod – uvažujeme 500 Kč
- $G_{tav}$  - Výkon odtavení při svařování [kg/hod]  
 - stanoveno z podkladů firmy ESAB  
 - pro trubičkový drát průměru 1,2 mm - 5,4 až 6,4 Kg/hod
- $t_{vyuz}$  - Časové využití fondu pracovní doby [%]  
 - pro svařování robotem 70 až 80 %  
 - pro svařování na polohovadle uvažujeme 50%

b) Náklady na přídatný svařovací materiál

$$N_2 = \frac{C_{sv}}{V_{sv}} = \frac{78}{0,95} = \underline{\underline{82,1 \text{ Kč} \cdot \text{kg}^{-1}}}$$

- kde:  $C_{sv}$  - Cena přídatného svařovacího materiálu [Kč/kg]  
 - Cena trubičkového drátu Megafil 710M – 78 Kč/kg
- $V_{sv}$  - Využití přídatného materiálu – podíl přeměny ve svarový kov [%]  
 - Využití trubičkového drátu – 95%

c) Náklady na ochranné plyny, případně tavidla

$$N_3 = \frac{Q_{plyn} \cdot C_{plyn}}{G_{tav}} = \frac{1\,080 \cdot 0,086}{6} = \underline{\underline{15,5 \text{ Kč} \cdot \text{kg}^{-1}}}$$

- kde:  $S_{vs}$  - Průtočné množství ochranného plynu [l/hod]  
 - dle záznamu svařování 18 l/min = 1 080 l/hod
- $C_{plyn}$  - Cena ochranného plynu [Kč/litr]  
 - směsný plyn cca 1 480 Kč (50 l lahev, 300 bar, zisk 17,3 m<sup>3</sup>)  
 - pro směsný plyn běžná cena 85 Kč/m<sup>3</sup>  
 - pro výpočet:  $C_{plyn} = 1\,480 / 17\,300 = 0,086 \text{ Kč/litr}$
- $G_{tav}$  - Výkon odtavení při svařování [kg/hod]

Celkové náklady na 1 kg odtaveného svarového kovu potom jsou:

$$N = N_1 + N_2 + N_3 = 166,7 + 82,1 + 15,5 = \underline{\underline{264,3 \text{ Kč} \cdot \text{kg}^{-1}}}$$

## 5 ZÁVĚRY

Předmětem této práce je snaha zefektivnění svařovacího procesu ve firmě Ekoinvesta s.r.o., sídlící v Hranicích na Moravě, která se zabývá výrobou kompenzátorů a montážních vložek instalovaných do potrubních systémů.

Pro dosažení požadované efektivity bylo zakoupeno polohovadlo od firmy HST Creativ se svařovacím zdrojem Fronius TPS 500i, což umožňuje částečnou automatizaci svařovacího procesu, díky automatickému chodu svářečky a polohovadla. V dalším kroku byl vybrán trubičkový drát s kovovou náplní, který při stejných svařovacích parametrech dosahuje až 40% navýšení ve výkonu odtavení oproti svařování plným drátem. V první části práce je popsána nyní používaná technologie MAG a také zaváděná technologie FCAW.

Pro zavedení nové technologie do výroby je nutné tuto technologii nakvalifikovat za pomoci certifikační společnosti. Proto byla vypracována pWPS, dle které byl za přítomnosti inspektora z certifikační společnosti zhotoven tupý svar velikosti 16 mm. Výpočtem uhlíkových ekvivalentů  $C_{E1} = 0,38\%$  pro ocel P355N a  $C_{E2} = 0,39\%$  pro ocel S355N bylo ověřeno, že není nutné dané oceli před svařením předehřívat. To bylo potvrzeno také výpočtem teploty předehřevu, jejíž hodnota vyšla 50,4 °C. Kvalifikace daného svařence probíhala dle normy ČSN EN ISO 15613:2005, která předepisuje vizuální a penetrační zkoušku, jejíž vyhodnocení proběhlo kladně. Zkouška makrostruktury však prokázala vadu ve svaru, která neumožňuje danou kvalifikaci dokončit. Dle mého názoru se pravděpodobně jedná o studený spoj, neprůvar nebo zavařenou nečistotu, bohužel po celém obvodu svaru. Druhem nečistoty jsou buď zavařené zbytky strusky nebo odpadlý ku s strusky ze svařovacího hořáku. Kvalifikační proces dále nemohl pokračovat a je nutné zhotovit nový svařenec. Pro ověření svařovací technologie byla změřena tvrdost pomocí dvou řad vtisků, jejíž maximální hodnota byla 346,8 HV5, což je dle normy ČSN EN ISO 15614-1:2018, která stanovuje maximální hodnotu na 380 HV, vyhovující.

V části technicko-ekonomického zhodnocení byla vypočtena celková cena na pořízení nových zařízení a zavedení nové technologie na 665 048 Kč. Dále byla stanovena orientační cena nákladů na 1 kg odtaveného svarového kovu na 264,3 Kč.

Pro zhotovení nového svařence pro kvalifikaci byla stanovena určitá doporučení, která mohou zvýšit efektivitu dané technologie, ale především mají vést k úspěšné kvalifikaci FCAW technologie v dané firmě. Daná doporučení jsou: zvýšení svařovacích parametrů, snížení počtu svarových housenek, úprava svarových ploch s cílem menšího úhlu rozevření, čištění jednotlivých mezivrstev, ochrana svařovacího hořáku proti rozstříku a jeho častější čištění.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. *Katalog výrobků: Kompenzátory a průmyslové armatury* [online]. [cit. 2018-02-07]. Dostupné z: <http://ekoinvesta.cz/gkflex/produkty.html>
2. *Ekoinvesta spol. s.r.o.: stavby-voda-topení-plyn* [online]. 2014 [cit. 2018-02-07]. Dostupné z: <http://ekoinvesta.cz/index.html>
3. FOLDYNA, Václav, Jaroslav PURMENSKÝ, Drahomír SCHWARZ, et al. *Materiály a jejich svařitelnost: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. 2., upr. vyd. Ostrava: ZEROSS, 2001, 292 s. ISBN 80-857-7185-3.
4. PTÁČEK, Luděk, Jaroslav CIHLAŘ, Rudolf FORET, et al. *Nauka o materiálu II*. 2. opr. a rozš. vyd. Brno: CERM, 2002, 392 s. ISBN 80-720-4248-3.
5. ČSN EN 10027-1. *Systémy označování oceli - Část 1: Stavba značek oceli*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017.
6. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ, Milan HORÁČEK, Ladislav ZEMČÍK, Bohumil KANDUS, Jaroslav KUBÍČEK, Evžen VYPLAŠIL a Ladislav ŽÁK. *Technologie II*. Vyd. 3., dopl., v Akademickém nakl. CERM 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004, 179-216. ISBN 80-214-2683-7.
7. AMBROŽ, Oldřich, Bohumil KANDUS a Jaroslav KUBÍČEK. *Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. Ostrava: ZEROSS, 2001, 395 s. Svařování. ISBN 80-857-7181-0.
8. *Automig: internetový magazín* [online]. [cit. 2018-02-18]. Dostupné z: <http://automig.cz/o-svarovani/metody/>
9. Svařování pod tavidlem. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001, 5. 12. 2016 [cit. 2018-02-18]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Sva%C5%99ov%C3%A1n%C3%AD\\_pod\\_tavidlem](https://cs.wikipedia.org/wiki/Sva%C5%99ov%C3%A1n%C3%AD_pod_tavidlem)
10. POCHODNJA, Igor Konstantinovič, Alexandr Michajlovič SUPTEL, Valerij Nikolajevič ŠLEPAKOV a Miroslav VÍTEK. *Svařování trubičkovým drátem*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1977, 249 s.
11. Obloukové svařování plněnou (trubičkovou) elektrodou. *Schinkmann: Svářecí technika* [online]. [cit. 2018-02-25]. Dostupné z: <https://www.schinkmann.cz/obloukove-svarovani-plnenou-trubickovou-elektrodou>
12. Autogen - plamenové svařování. In: *Schinkmann* [online]. [cit. 2018-02-18]. Dostupné z: <https://www.schinkmann.cz/autogen-plamenove-svarovani>

13. MMA (Manual Metal Arc Welding). *Automig: internetový magazín* [online]. [cit. 2018-02-18]. Dostupné z: <http://automig.cz/o-svarovani/metody/obalena-elektroda-mma/>
14. Cesty zvýšení produktivity svařování pod tavidlem – projekt ICE™. *KONSTRUKCE* [online]. 2012- [cit. 2018-02-18]. ISSN 1803-8433. Dostupné z: <http://www.konstrukce.cz/clanek/cesty-zvyseni-produktivity-svarovani-pod-tavidlem-projekt-ice>
15. MIG/MAG (CO2). In: *Schinkmann* [online]. [cit. 2018-02-18]. Dostupné z: <https://www.schinkmann.cz/mig-mag-co2>
16. ČSN EN 1011-1. *Svařování - Doporučení pro svařování kovových materiálů - Část 1: Všeobecná směrnice pro obloukové svařování*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
17. MAJER, Lubomír, Jiří PODHORA, Miroslav SUCHÁNEK a Stanislav VEJVODA. *Navrhování a posuzování svařovaných konstrukcí a tlakových zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. Ostrava: ZEROSS, 1999, 249 s. ISBN 80-857-7170-5.
18. SIGMUND, Marian., Svařitelnost kovových materiálů. Svařitelnost C a C-Mn ocelí., Teorie a technologie svařování – HS2. [Přednáška]. Brno: VUT v Brně, FSI, 2017
19. ARA diagram. [online]. [cit. 2018-02-18]. Dostupné z: [http://uvp3d.cz/drtic/?page\\_id=2888](http://uvp3d.cz/drtic/?page_id=2888)
20. OCHODEK, Vladislav. Stanovení teploty předehřevu. In: *DOM-ZO 13, s.r.o* [online]. 03/2012 [cit. 2018-02-25]. Dostupné z: [http://www.domzo13.cz/dokumenty/vyuka/seminare/stanoveni\\_teploty\\_predehrevu\\_2012.pdf](http://www.domzo13.cz/dokumenty/vyuka/seminare/stanoveni_teploty_predehrevu_2012.pdf)
21. ČSN EN 1011-2. *Svařování - Doporučení pro svařování kovových materiálů - Část 2: Obloukové svařování feritických ocelí*. Praha: Český normalizační institut, 2002.
22. SIGMUND, Marian., Teplotně – deformační cyklus, možnosti jeho ovlivňování, teplotní výpočty., Teorie a technologie svařování – HS2. [Přednáška]. Brno: VUT v Brně, FSI, 2017
23. Post Weld Heat Treatment (PWHT). *Doha Star Group* [online]. [cit. 2018-02-25]. Dostupné z: <http://dsigroup.com.sa/Post-Weld-Heat-Treatment-PWHT.html>
24. SIGMUND, Marian., Teoretické základy vzniku svarového spoje, názvosloví ve svařování., Teorie a technologie svařování – HS2. [Přednáška]. Brno: VUT v Brně, FSI, 2017
25. RODER, Václav. Spoje ocelových konstrukcí: Svarové spoje. In: *Spoje ocelových konstrukcí* [online]. Brno, 2018 [cit. 2018-02-06]. Dostupné z: <http://ocel.wz.cz/svarove-spoje/>

26. MIG/MAG (CO<sub>2</sub>). *Automig: internetový magazín* [online]. [cit. 2018-02-26]. Dostupné z: <http://automig.cz/o-svarovani/metody/migmag-co2/>
27. HEISERMAN, David L. Gas Metal Arc Welding. In: *Free-ed.net: Making serious lifelong learning reality* [online]. [cit. 2018-03-06]. Dostupné z: <http://www.free-ed.net/free-ed/SkilledTrades/Welding/10GMAW/GMAWframe.asp>
28. MIG welding torch / water-cooled / push-pull. In: *Direct Industry* [online]. [cit. 2018-02-26]. Dostupné z: <http://www.directindustry.com/prod/lorch-schweisstechnik/product-112461-1212023.html>
29. Svařovací hořák, BL 240 / 4m. In: *CzNARADI.CZ: Obchod se svařovací technikou a nářadím* [online]. [cit. 2018-02-27]. Dostupné z: <https://www.cznaradi.cz/svarovaci-horak-bl-240-4m>
30. Značení tlakových lahví. *MESSER: Gases for Life* [online]. [cit. 2018-02-27]. Dostupné z: <https://www.messergroup.com/web/messer-technogas-spol.-s.r.o./znaceni-tlakovych-lahvi>
31. Rozměry tlakových lahví. In: *MESSER: Gases for Life* [online]. [cit. 2018-02-27]. Dostupné z: <https://www.messergroup.com/web/messer-technogas-spol.-s.r.o./rozmary-tlakovych-lahvi>
32. Druhy cívek pro dráty MIG/MAG. *SVARINFO: Magazín praktického svařování* [online]. [cit. 2018-02-28]. Dostupné z: <https://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cisloclanku=2009010502>
33. Drát OK Autrod 12.51 pr. 1.0 mm. MARATHON PAC. In: *AB technika pro svařování s.r.o.* [online]. [cit. 2018-02-28]. Dostupné z: <http://www.svarovaci-technika.cz/shop/d/drat-ok-autrod-12-51-pr-1-0-mm-marathon-pac-/423>
34. Svařování v ochranné atmosféře tavící se elektrodou. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-03-02]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Sva%C5%99ov%C3%A1n%C3%AD\\_v\\_ochrann%C3%A9\\_atmosf%C3%A9r%C5%99e\\_tav%C3%ADc%C3%AD\\_se\\_elektrodou](https://cs.wikipedia.org/wiki/Sva%C5%99ov%C3%A1n%C3%AD_v_ochrann%C3%A9_atmosf%C3%A9r%C5%99e_tav%C3%ADc%C3%AD_se_elektrodou)
35. Flux Cored Arc Welding (FCAW). In: *WeldGuru: Welcome to the World of Welding* [online]. [cit. 2018-03-17]. Dostupné z: <https://www.weldguru.com/support-files/flux-cored-arc-welding.pdf>
36. VEVERKA, Jan. Technologie výroby trubičkových drátů firmy OERLIKON a jejich použití. In: *OMNITECH: Svařování bez kompromisů* [online]. 2018 [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: [https://www.omnitechweld.cz/cze/clanky/vyroba\\_trubickovych\\_dratu%20.html](https://www.omnitechweld.cz/cze/clanky/vyroba_trubickovych_dratu%20.html)
37. SIGMUND, Marian., Operační manuál pro svařování trubičkovými elektrodami v ochranné atmosféře. [Přednáška]. Wirpo s.r.o., 2018

38. RWP MILLER 1050.1221 Mk.II. *HST CREATIVE* [online]. [cit. 2018-03-25]. Dostupné z: <http://www.hstcreative.cz/rwp-miller-1050-1221-mk-ii-587cz364/>
39. TPS 500i. *FRONIUS: Shifting the limits* [online]. [cit. 2018-04-19]. Dostupné z: [http://www3.fronius.com/cps/rde/xchg/SID-7C84EA13-DA671250/fronius\\_ceska\\_republika/hs.xsl/29\\_11000.htm#.WtiHYC5ubIV](http://www3.fronius.com/cps/rde/xchg/SID-7C84EA13-DA671250/fronius_ceska_republika/hs.xsl/29_11000.htm#.WtiHYC5ubIV)
40. ČSN EN ISO 15607. *Stanovení a kvalifikace postupů svařování kovových materiálů - Všeobecná pravidla*. 1. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2004.
41. ČSN EN ISO 15609-1. *Stanovení a kvalifikace postupů svařování kovových materiálů - Stanovení postupu svařování - Část 1: Obloukové svařování*. 1. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2005.
42. Plněné elektrody (Trubičkové dráty). *Wirpo: Svařovací materiály a příslušenství* [online]. 2018 [cit. 2018-04-17]. Dostupné z: <https://www.wirpo.cz/pridavne-materialy/svarovani-a-navarovani/nelegovane-a-nizkolegovane-oceli>
43. ČSN EN ISO 15613. *Stanovení a kvalifikace postupů svařování kovových materiálů - Kvalifikace na základě předvýrobní zkoušky svařování*. 1. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2005.
44. ČSN EN ISO 15614-1. *Stanovení a kvalifikace postupu svařování kovových materiálů - Zkouška postupu svařování - Část 1: Obloukové a plamenové svařování oceli a obloukové svařování niklu a slitin niklu*. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2018.
45. ČSN EN ISO 9015-1. *Destruktivní zkoušky svarů kovových materiálů - Zkoušení tvrdosti - Část 1: Zkouška tvrdosti spojů svařovaných obloukovým svařováním*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
46. NOVÁK, Stanislav a Jiří MRÁČEK. Parametry, které ovlivňují náklady na svařování. In: *All for power: informační portál a časopis* [online]. První železářská společnost Kladno, s. r. o. [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: [http://www.allforpower.cz/UserFiles/files/2011/Zelezarenska\\_KLadno.pdf](http://www.allforpower.cz/UserFiles/files/2011/Zelezarenska_KLadno.pdf)
47. Advantages and Disadvantages of Metal Cored Wires. *ESAB KNOWLEDGE CENTER* [online]. 2018 [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: <http://www.esabna.com/us/en/education/blog/advantages-and-disadvantages-of-metal-cored-wires.cfm>

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

| Označení          | Popis  | Jednotka                 |
|-------------------|--|--------------------------|
| ARA               | Anizotermický rozpad austenitu               | [-]                      |
| A <sub>1</sub>    | Teplota eutektoidní přeměny                  | [°C]                     |
| A <sub>3</sub>    | Teplota přeměny austenitu na ferit           | [°C]                     |
| C <sub>c</sub>    | Ekvivalentní uhlík                           | [%]                      |
| C <sub>E</sub>    | Uhlíkový ekvivalent                          | [%]                      |
| CET               | Uhlíkový ekvivalent                          | [%]                      |
| C <sub>plyn</sub> | Cena ochranného plynu                        | [Kč·litr <sup>-1</sup> ] |
| C <sub>sv</sub>   | Cena přídavného svařovacího materiálu        | [Kč·kg <sup>-1</sup> ]   |
| d                 | Tloušťka plechu                              | [mm]                     |
| FCAW              | Flux Cored Arc Welding                       | [-]                      |
| G <sub>tav</sub>  | Výkon odtavení při svařování                 | [kg·hod <sup>-1</sup> ]  |
| HD                | Obsah vodíku ve svarovém kovu                | [ml·100g <sup>-1</sup> ] |
| HV                | Tvrdost dle Vickerse                         | [-]                      |
| I                 | Svařovací proud                              | [A]                      |
| IIW/IIS           | Mezinárodní svářečský institut               | [-]                      |
| k                 | Tepelná účinnost                             | [-]                      |
| l                 | Délka svaru                                  | [mm]                     |
| MAG               | Metal Active Gas                             | [-]                      |
| MIG               | Metal Inert Gas                              | [-]                      |
| N                 | Náklady na 1 kg odtaveného svarového kovu    | [Kč·kg <sup>-1</sup> ]   |
| N <sub>1</sub>    | Mzdové a režijní náklady vztažené na svářeče | [Kč·kg <sup>-1</sup> ]   |
| N <sub>2</sub>    | Náklady na přídavný svařovací materiál       | [Kč·kg <sup>-1</sup> ]   |
| N <sub>3</sub>    | Náklady na ochranné plyny, případně tavidla  | [Kč·kg <sup>-1</sup> ]   |
| pWPS              | Předběžná specifikace postupu svařování      | [-]                      |
| Q                 | Měrný příkon svařování                       | [kJ·mm <sup>-1</sup> ]   |
| s                 | Tloušťka materiálu                           | [mm]                     |
| S <sub>n</sub>    | Plocha navařeného kovu                       | [mm <sup>2</sup> ]       |
| S <sub>sv</sub>   | Hodinová sazba svářeče                       | [Kč·hod <sup>-1</sup> ]  |
| S <sub>vs</sub>   | Průtočné množství ochranného plynu           | [l·hod <sup>-1</sup> ]   |
| S <sub>Z</sub>    | Plocha závaru                                | [mm <sup>2</sup> ]       |
| t                 | Čas svařování                                | [s]                      |
| t <sub>využ</sub> | Časové využití fondu pracovní doby           | [%]                      |
| TOO               | Tepelně ovlivněná oblast                     | [-]                      |
| T <sub>p</sub>    | Teplota přehřevu                             | [°C]                     |
| U                 | Svařovací napětí                             | [V]                      |
| v                 | Svařovací rychlost                           | [mm·s <sup>-1</sup> ]    |
| V <sub>K</sub>    | Kritická rychlost ochlazování                | [°C·min <sup>-1</sup> ]  |
| V <sub>sv</sub>   | Využití přídavného materiálu                 | [%]                      |
| WPQR              | Protokol o kvalifikaci postupu svařování     | [-]                      |
| WPS               | Specifikace postupu svařování                | [-]                      |
| Z                 | Zředění                                      | [%]                      |
| ZM                | Základní materiál                            | [-]                      |

## SEZNAM OBRÁZKŮ

|  |    |
|--|----|
| Obr. 1 Příklady kompenzátoru a montážní vložky .....                                     | 9  |
| Obr. 2 Pryžový kompenzátor GK .....  | 10 |
| Obr. 3 Montážní vložka DN300-16 v řezu .....   | 10 |
| Obr. 4 Řez tělem montážní vložky .....   | 11 |
| Obr. 5 Svařování plamenem .....  | 13 |
| Obr. 6 Svařování obalenou elektrodou .....   | 14 |
| Obr. 7 Svařování pod tavidlem .....  | 14 |
| Obr. 8 Svařování MIG/MAG .....   | 15 |
| Obr. 9 Svařování trubičkovým drátem .....  | 15 |
| Obr. 10 Tvar svarové lázně a růst dendritů .....   | 16 |
| Obr. 11 Vliv teplotního účinku svařování na strukturu svarového spoje .....              | 19 |
| Obr. 12 Závislost tvrdosti oceli na obsahu uhlíku způsobená přítomností martenzitu ..... | 20 |
| Obr. 13 Diagram anizotermického rozpadu austenitu .....                                  | 21 |
| Obr. 14 Lokální žíhání ke snížení vnitřního pnutí .....                                  | 23 |
| Obr. 15 Značení svarového spoje .....  | 24 |
| Obr. 16 Tupý svarový spoj .....  | 24 |
| Obr. 17 Svarové plochy pro tupý spoj .....   | 24 |
| Obr. 18 Koutový svarový spoj .....   | 25 |
| Obr. 19 Přeplátovaný svarový spoj .....  | 25 |
| Obr. 20 Svařovací zařízení pro metodu MAG .....  | 26 |
| Obr. 21 Využití vzdáleného podavače a mezipohonu drátu s hořákem PUSH-PULL .....         | 27 |
| Obr. 22 Ruční svařovací hořák .....  | 28 |
| Obr. 23 Složení svařovacího hořáku .....   | 28 |
| Obr. 24 Štítek s označením plynové láhve .....   | 30 |
| Obr. 25 Tlakové láhve s CO <sub>2</sub> .....  | 31 |
| Obr. 26 Cívky přídavného materiálu .....   | 32 |
| Obr. 27 Marathon pac firmy Esab .....  | 32 |
| Obr. 28 Kladkové ústrojí pro podávání svařovacího drátu .....                            | 32 |
| Obr. 29 Typy přenosu kovu v elektrickém oblouku .....                                    | 33 |
| Obr. 30 Síly působící na odtavující se kapku .....                                       | 34 |
| Obr. 31 Vliv svařovacího napětí na tvar svarové housenky .....                           | 35 |
| Obr. 32 Vliv svařovacího proudu na tvar svarové housenky .....                           | 35 |
| Obr. 33 Technika svařování .....   | 38 |
| Obr. 34 Přenos kovu u plného a trubičkového drátu .....                                  | 38 |
| Obr. 35 Struktura trubičkového drátu .....   | 39 |
| Obr. 36 Konstrukce trubičkového drátu .....  | 40 |
| Obr. 37 Polohovadlo RWP MILLER 1050.1221 Mk. II .....                                    | 40 |
| Obr. 38 Svařovací zdroj Fronius TPS 500i .....   | 42 |
| Obr. 39 Zkušební kus pro kvalifikaci .....   | 44 |
| Obr. 40 Zkušební kus upnutý na polohovadle .....   | 45 |
| Obr. 41 Svařování kvalifikovaného postupu svařování .....                                | 48 |
| Obr. 42 Nanesená vývojka .....   | 50 |
| Obr. 43 Nanesená detekční kapalina .....   | 50 |
| Obr. 44 Výřez pro zkoušení .....   | 50 |
| Obr. 45 Výřez pomocí autogenu .....  | 50 |
| Obr. 46 Makrostruktura svaru s vadou .....   | 51 |
| Obr. 47 Umístění řad vtisků pro měření tvrdosti .....                                    | 51 |
| Obr. 48 Rozložení vtisků při měření tvrdosti - podpovrchová vrstva .....                 | 52 |
| Obr. 49 Rozložení vtisků při měření tvrdosti - kořenová vrstva .....                     | 53 |



## SEZNAM TABULEK

|   |    |
|---|----|
| Tab. 1 Příklady kompenzátorů a montážních vložek .....                                | 11 |
| Tab. 2 Chemické složení v [hm. %] oceli P355N .....                                   | 12 |
| Tab. 3 Mechanické vlastnosti oceli P355N .....  | 12 |
| Tab. 4 Chemické složení v [hm. %] a mechanické vlastnosti oceli S355N .....           | 13 |
| Tab. 5 Kritéria pro aplikaci speciálních opatření při svařování .....                 | 20 |
| Tab. 6 Barevné značení tlakových láhví u vybraných plynů .....                        | 31 |
| Tab. 7 Druhy cívek s přídavným drátem .....   | 31 |
| Tab. 8 Orientační hodnoty parametrů svařování oceli pro metodu MAG .....              | 36 |
| Tab. 9 Technické údaje polohovadla RWP MILLER 1050.1221 Mk. II .....                  | 41 |
| Tab. 10 Rozměry zkušebního kusu a rozsah kvalifikace .....                            | 44 |
| Tab. 11 Chemické složení a mechanické vlastnosti trubičkového drátu Megafil 710 M ... | 47 |
| Tab. 12 Záznam svařovacích parametrů .....  | 47 |
| Tab. 13 Vypočtené hodnoty rychlosti svařování a svařovacího příkonu .....             | 49 |
| Tab. 14 Naměřené hodnoty tvrdosti .....   | 52 |
| Tab. 15 Záznam svařovacích parametrů při ručním svařování .....                       | 54 |
| Tab. 16 Vypočtené hodnoty rychlosti svařování a tepelného příkonu pro ruční svařování | 54 |
| Tab. 17 Srovnání FCAW a MAG svařování .....   | 54 |
| Tab. 18 Náklady na pořízení a zavedení automatizované FCAW technologie .....          | 56 |

## SEZNAM GRAFŮ

|  |    |
|--|----|
| Graf 1 Tvrdost materiálu v podpovrchové vrstvě ..... | 52 |
| Graf 2 Tvrdost materiálu v kořenové vrstvě .....     | 53 |

## SEZNAM PŘÍLOH

|                   |   |
|-------------------|---|
| <b>Příloha 1</b>  | Certifikát o posouzení systému kvality (modul H)        |
| <b>Příloha 2</b>  | Atest 3.1 svařované trubky                              |
| <b>Příloha 3</b>  | Atest 3.1 svařovaného plechu                            |
| <b>Příloha 4</b>  | Technické údaje polohovadla RWP MILLER 1050.1221 Mk. II |
| <b>Příloha 5</b>  | Technické údaje svařovacího zdroje Fronius TPS 500i     |
| <b>Příloha 6</b>  | Předběžná specifikace postupu svařování                 |
| <b>Příloha 7</b>  | Materiálový list trubičkového drátu Megafil 710 M       |
| <b>Příloha 8</b>  | Záznamový list svařování                                |
| <b>Příloha 9</b>  | Protokol o vizuální kontrole svarů                      |
| <b>Příloha 10</b> | Protokol o penetrační kontrole svarů                    |

## SEZNAM VÝKRESŮ

|   |                               |
|---|-------------------------------|
| Svařenec těla M20, DN 300-16            | M20/999003/300/16/300_0.1_R01 |
| Svařenec pro kvalifikaci FCAW svařování | DP-01-161578                  |

**Příloha 1** Certifikát o posouzení systému kvality (modul H).

|  |   |  |
|--|---|--|
| ZERTIFIKAT<br>◆ CERTIFICATE<br>◆ 認証証書<br>◆ CERTIFICADO<br>◆ CERTIFIKAT   | <br>Czech  |  |
|  | <b>CERTIFIKÁT</b>   |  |
|  | evidenční číslo 10.601.889  |  |
|  | o posouzení systému kvality (modul H)<br>vydaný podle oddílu 11 přílohy III směrnice Evropského parlamentu a Rady<br>2014/68/EU provedené zákonem č. 90/2016 Sb. a NV č. 219/2016 Sb. |  |
|  | výrobci:  |  |
|  | EKOINVESTA spol. s r.o.<br>Tř. 1. máje 328<br>CZ - 753 01 Hranice<br>IČ: 64618447   |  |
|  | Posouzení systému kvality bylo provedeno pro rozsah výrobků:<br><b>Tlakové kompensátory</b>   |  |
|  | Tímto osvědčujeme, že systém kvality je ve shodě s požadavky  |  |
|  | <b>SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2014/68/EU<br/>modul H</b>   |  |
|  | Podrobnosti o závěrech posuzování jsou uvedeny v Auditní zprávě ev. č.<br>10.620.655 ze dne 06.02.2017, která je nedílnou součástí tohoto certifikátu.                                |  |
| Tento certifikát se vydává pro účely vydání EU prohlášení o shodě tlakových<br>zařízení dle výše uvedeného rozsahu a jejich označování značkou CE<br>s připojeným identifikačním číslem oznámeného subjektu, jak je vyobrazeno níže: |   |  |
| <b>CE 1017</b>   |   |  |
| Tento certifikát má platnost do: <b>09.03.2020</b>   |   |  |
| V Praze, dne 09.03.2017  |   |  |
|    |   |  |
|   |   |  |
| za Oznámený subjekt 1017<br>Jana Bačinová<br>vedoucí útvaru kvality  |   |  |
| TUV SÚD Czech s.r.o. • Novodvorská 994 • 142 21 Prague 4 • Czech Republic • <a href="mailto:certification@tuv-sud.cz">certification@tuv-sud.cz</a>   |   |  |
|   |   |  |

**Manufacturer:**  
ArcelorMittal Tubular Products Roman S.A.  
STEFAN CEL MAPE STR. BL 15, SC. A, PARTER.1  
ROMAN, NEAMT ROMANIA

**Buyer:** STAHLROHE GMBH  
AM BLUMENTAMPFHOFF 67 D-47059  
DUISBURG, GERMANY

**MILL TEST CERTIFICATE**  
according to EN10204/3.1/2004

SEAMLESS STEEL LINE PFES

Page 1/3  
**B 11968/1**  
**11.05.2017**

**ArcelorMittal**

Total weight: 6.587 tons  
Total Length: 43.14 meters  
Bundles: 4

**Standard:** EN 10210-1&2-2006, EN 10210-3-2014, EN 10297-1-2003, AD-2000 W4-2013

Dimensions: 355.60 x 17.50 mm      Schedule:      Length: 10.00 - 12.00 m

Hydro Test:      Bar 70      PSI      MPa 7.0      Time(sec) 5      Steel Grade: P955N-TC1S3557HE355

Item 9      Item Client      Dil: -      Transport: -

**Chemical Analysis (%)**

| Heat   | Bulletin No. | Product Req.     | C    | Mn   | Si   | S     | P     | Cu   | Ni   | Cu   | Al    | Mo   | V     | Nb    | Ti    | N      |
|--------|--------------|------------------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|-------|------|-------|-------|-------|--------|
| 84073K | 17-467       | Heat analysis    | 0.16 | 1.70 | 0.55 | 0.003 | 0.040 | 0.35 | 0.55 | 0.34 | -     | 0.11 | 0.110 | 0.055 | 0.050 | 0.0020 |
| 84073K | 17-467       | Product analysis | -    | 0.85 | -    | -     | -     | -    | -    | -    | 0.015 | -    | -     | -     | -     | -      |
| 84073K | 17-467       | Product analysis | 0.15 | 1.22 | 0.20 | 0.002 | 0.012 | 0.06 | 0.03 | 0.10 | 0.025 | 0.01 | 0.073 | 0.001 | 0.001 | 0.0075 |
| 84073K | 17-467       | Product analysis | 0.15 | 1.20 | 0.18 | 0.001 | 0.011 | 0.04 | 0.02 | 0.08 | 0.023 | 0.00 | 0.074 | 0.000 | 0.000 | 0.0073 |
| 84073K | 17-467       | Product analysis | 0.14 | 1.21 | 0.10 | 0.001 | 0.010 | 0.05 | 0.03 | 0.08 | 0.022 | 0.00 | 0.074 | 0.000 | 0.000 | 0.0073 |

**Chemical Analysis (%)**

| Heat   | Bulletin No. | Product Req.     | Nb + Ti + V | CE <sub>ITW</sub> | Cr + Mo + Cu |
|--------|--------------|------------------|-------------|-------------------|--------------|
| 84073K | 17-467       | Heat analysis    | 0.120       | 0.43              | 0.45         |
| 84073K | 17-467       | Product analysis | -           | -                 | -            |
| 84073K | 17-467       | Product analysis | 0.075       | 0.39              | 0.16         |
| 84073K | 17-467       | Product analysis | 0.071       | 0.38              | 0.12         |
| 84073K | 17-467       | Product analysis | 0.074       | 0.37              | 0.13         |


CE<sub>ITW</sub> = C+Mn/6+(Cr+Mo+V)/5+(Ni+Cu)/15

**Tensile Test**

| Heat   | Orientation       | Length mm | Width Diameter mm | Thickness mm | Section mm <sup>2</sup> | Mechanical test Bulletin No. | YS MPa | YS (PSI:1000) | UTS MPa | UTS (PSI:1000) | E %   | YS/UTS max: - |
|--------|-------------------|-----------|-------------------|--------------|-------------------------|------------------------------|--------|---------------|---------|----------------|-------|---------------|
| 84073K | Longitudinal Flat | -         | 20.00             | 17.60        | 352.0                   | 17-1107                      | 380.70 | -             | 508.50  | -              | 36.30 | 0.75          |

Quality Control Representative



We state on our sole responsibility that the delivered products are in conformity with the order requirements.

|  |                                |   |                    |                    |                        |                                      |                                |   |   |                                  |
|--|--------------------------------|---|--------------------|--------------------|------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|---|---|----------------------------------|
| <b>Manufacturer:</b><br>ArcelorMittal Tubular Products Rouan S.A.<br>STEFAN CEL MARE STR. BL 15. SC. A. PARTER I<br>ROMAN, NEAMT ROMANIA |                                | <b>MILL TEST CERTIFICATE</b><br>according to EN10243/1/2004 |                    |                    |                        | Page 2/3<br>B 11968/1<br>11.05.2017  |                                |  |   |                                  |
| <b>Buyer:</b> STAHLROHE GMBH<br>AM BLUMENKAMPF HOF 67 D-47659<br>DUISBURG, GERMANY   |                                | SEAMLESS STEEL LINE PIPES                                   |                    |                    |                        | Total weight:<br>0.587 tons<br>- lbs |                                | Total Length:<br>43.14 meters<br>- feet   | Pieces<br>4                                       | Bundles<br>-                     |
| <b>Standard:</b><br>EN 10110-1&2-2000; EN 10110-3-2014; EN 10297-1-2005; AD-2000 W-4-2015  |                                |   |                    |                    |                        |                                      |                                |   |   |                                  |
| <b>Buyer's reference:</b> PO NO.: 31104<br><b>Contract:</b> #0403111   |                                | Dimensions: 355.60 x 17.50 mm                               |                    | Schedule: -        |                        | Length: 10.00 - 12.00 m              |                                |   |   |                                  |
| <b>Item:</b> 9   |                                | <b>Item Client:</b> -                                       |                    | <b>Hydro Test:</b> | <b>Per:</b> 70         | <b>AST:</b> -                        | <b>MPa:</b> 7.0                | <b>Time(sec):</b> 5   | <b>Steel Grade:</b> P355GH-TC1/S355J2H/E355<br>+N |                                  |
| <b>Impact Test</b>   |                                |   |                    |                    |                        |                                      |                                |   |   |                                  |
| <b>Heat</b>  | <b>Impact Test Bulletin No</b> | <b>Orientation</b>  | <b>Size (mm)</b>   | <b>Temp. (°C)</b>  | <b>Req KV (min. J)</b> | <b>KV values (J)</b>                 | <b>Req Av. energy (min. J)</b> | <b>Av. fracture energy (J)</b>  | <b>KCV min. J/cm² T °C</b>                        | <b>Shear Area min. %</b>         |
| 84073K   | 17-2251                        | Transversal   | 10x10x55           | -20                | -                      | 338 332 317                          | 27.0                           | 329   | -   | 100 100 100                      |
|  |                                |   |                    |                    |                        |                                      |                                |   |   | <b>Lateral Expansion min. mm</b> |
|  |                                |   |                    |                    |                        |                                      |                                |   |   | 2.33 2.32 2.31                   |
| <b>Technological/Microstructure Test</b>   |                                |   |                    |                    |                        |                                      |                                |   |   |                                  |
| <b>Flattening Test</b>   |                                | <b>Flattening Test</b>                                      |                    |                    |                        |                                      |                                |   |   |                                  |
| <b>Heat</b>  | <b>Bulletin No.</b>            | <b>Test</b>   |                    |                    |                        |                                      |                                |   |   |                                  |
| 84073K   | 17-1967                        | OK  |                    |                    |                        |                                      |                                |   |   |                                  |
| <b>Heat</b>  |                                |   |                    |                    |                        |                                      |                                |   |   |                                  |
| <b>Heat</b>  | <b>Pieces</b>                  | <b>Length (m)</b>   | <b>Weight (kg)</b> |                    |                        |                                      |                                |   |   |                                  |
| 84073K   | 4                              | -   | -                  |                    |                        |                                      |                                |   |   |                                  |

Quality Control Representative

We state on our sole responsibility that the delivered products are in conformity with the order requirements.



|   |  |   |  |             |  |                                      |  |   |  |   |  |              |  |
|---|--|---|--|-------------|--|--------------------------------------|--|---|--|---|--|--------------|--|
| <b>Manufacturer:</b><br>ArcelorMittal Tubular Products Roman S.A.<br>STEFAN CEL MARE STR. BL 15, SC. A, PARTER I<br>ROMAN, NEAMT ROMANIA  |  | <b>MILL TEST CERTIFICATE</b><br>according to EN10244/3.1/2004 |  |             |  | Page 3/3<br>B 11963/1<br>11.06.2017  |  |  |  |   |  |              |  |
| <b>Buyer:</b> STAHLROHE GMBH<br>AM BLUMENKAMPF 67 D-47659<br>DUISBURG, GERMANY  |  | SEAMLESS STEEL LINE PIPES                                     |  |             |  | Total weight:<br>0.587 tons<br>- lbs |  | Total Length:<br>43.14 meters<br>- feet   |  | Pieces<br>4                                   |  | Bundles<br>- |  |
| <b>Standard:</b><br>EN 10210-1&2-2006; EN 10210-3-2014; EN 10210-4-2015   |  |   |  |             |  |                                      |  |   |  |   |  |              |  |
| <b>Buyer's reference</b><br>PO NO.: 31104   |  | Dimensions: 355.60 x 17.50 mm                                 |  | Schedule: - |  | Length: 10.00 - 12.00 m              |  |   |  |   |  |              |  |
| <b>Contract</b> #0403111  |  | Hydro Test:   |  | Per<br>70   |  | MPa<br>7.0                           |  | Time(sec)<br>5  |  | Steel Grade:<br>P355NH-TCI/S355J2H/E355<br>+N |  |              |  |
| <b>Item</b><br>9  |  | <b>Item Client</b><br>-                                       |  |             |  |                                      |  |   |  |   |  |              |  |
| <b>Remarks:</b><br>MARKING ON THE PIPES BY PAINTING:<br>ARCELORMITTAL TUBULAR PRODUCTS ROMAN - - 355 60 - 17 50 -<br>EN10210-1/2; EN 10210-3; S355J2H/ E355N/ P355N-TCI<br>- Length(m) + Heat no. ... + CTC die stamping + (C) 0038-17-0038/CPD/BUC 10 00067/A<br>PIPES IN COMPLIANCE WITH PED 2014-68-EU/15.03.2014, ANNEX 1, SECTION 4.3.<br>Manufacturing process - hot rolling<br>Hot finished, steel is fully killed and produced by electric furnace.<br>Heat treatment: normalizing at temperature 910°C - 920°C, time soaking 39 min.<br>Hydrostatic test hold for 5 sec. no leakage noticed.<br>Inspection certificate EN 10204-3.1 acc. to AD 2000 Merkblatt W4 ; confirmation letter issued by TUV<br>SUD Industry Service GmbH on 22 th, February 2013<br>Issued in agreement with TUV SUD Industrie Service GmbH(08/2008). |  |   |  |             |  |                                      |  |   |  |   |  |              |  |
| MARKING ON THE LABEL & INSPECTION CERTIFICATE:<br><br>0038   |  |   |  |             |  |                                      |  |   |  |   |  |              |  |
| ARCELORMITTAL<br>TUBULAR PRODUCTS ROMAN S.A.<br>STEFAN CEL MARE STR. BL 15, SC. A, PARTER I ROMAN,<br>NEAMT ROMANIA   |  |   |  |             |  |                                      |  |   |  |   |  |              |  |
| 17<br>0038/CPD/BUC1000067/A   |  |   |  |             |  |                                      |  |   |  |   |  |              |  |
| EN10210-1-2006<br>Steel hollow sections for building and civil engineering<br>Product designation : S355J2H<br>Dangerous substance As: Less than 0.2 ppm<br>Durability : NPD<br>Quality Control Representative  |  |   |  |             |  |                                      |  |   |  |   |  |              |  |

We state on our sole responsibility that the delivered products are in conformity with the order requirements.

| INSPEKČNÍ CERTIFIKÁT 3.1   |  | EN 10204:2004  |                         |
|--|--|--|-------------------------|
| INSPECTION CERTIFICATE, ABNAHMEPRÜFZEUGNIS, CERTIFICAT DE RÉCEPTION  |  | A02  |                         |
| <b>VÍTKOVICE STEEL</b>   |  | A03/ Číslo dokumentu, No., N   | 858/2018                |
| A01 VÍTKOVICE STEEL, s.r.o.,<br>Monswařká Ostrava Česká republika 3321/46, ČESKÁ REPUBLIKA<br>A05 Kontrola jakosti, e-mail: quality.control@vitekovicesteel.com  |  | Z02/ Datum, Date   | 08.01.2018              |
|  |  | Strana, Page, Seite  | 1/ 2                    |
| A06/ Odběratel, Customer/consignee, Besteller/Empfänger, Acheteur/destinataire   |  | A08/ Číslo zakázky výrobce, Manufacturer's works order No., Werksauftrag Nr., Num. de la commande de l'usine productrice | 182483/2018             |
|  |  | A07/ Číslo objednávky odběratele, Purchaser's order No., Kundenbestellungsnummer, Numéro de la commande du client        | 139189/006<br>172003046 |
| A10/ Advice & Advice Note No., Aviso N., Aviso N.  |  | B14/ Wagon & Wagon No., Wagon N.   | 154379                  |
|  |  | B13/ Sk.hm., Act.mass./st.Masse/Masse eff.   | 3E08732                 |
|  |  |  | 5760 kg                 |
| EN ISO 9001 : TÜV NORD: 04100930144<br>EN ISO 14001: TÜV NORD: 04104030144<br>BS OHSAS 18001: TÜV NORD: 04115030144  |  |  |                         |
| B01/ Výrobek, Product, Erzeugnis, Produit, B01/ Počet, No. of pieces, Stückzahl<br>B05-B11/ Rozměry, Dimensions, Maße, B12/Tvar, Form, Th.Masse, Th.Masse th.  |  | B02/ Označení oceli, Steel designation, Stahlbezeichnung,<br>Désignation de l'acier                                      |                         |
| 30-2000-6000 mm  |  | S355J2+N   |                         |
| 5760 kg  |  | +N   |                         |
| 2 plechy   |  |  |                         |
| B03  |  | B03/ Dodací podmínky, Terms of Delivery,<br>Lieferbedingungen, Conditions de livraison                                   |                         |
|  |  | EN 10025-2/2004<br>EN 10029 A/N<br>EN 10163-2 Tř. A Podsk. 1   |                         |
| B14/ Tvarba & Heat No., Schmelze Nr., No de la coulée  |  | Zkouška tahem, Tensile test, Zugversuchtest, Essai de traction   |                         |
| C70  |  | Zkouška rázem v ohybu [J], Impact test [J], Kerbschlagversuchtest [J], Essai de résilience [J]                           |                         |
| C02  |  | C02  |                         |
| C03  |  | C03  |                         |
| C10  |  | C10  |                         |
| C11  |  | C11  |                         |
| C13  |  | C13  |                         |
| C11  |  | C11  |                         |
| C12  |  | C12  |                         |
| C13  |  | C13  |                         |
| C02  |  | C02  |                         |
| C03  |  | C03  |                         |
| C40  |  | C40  |                         |
| C41  |  | C41  |                         |
| C42  |  | C42  |                         |
| C43  |  | C43  |                         |
| 08264 Y 2 480321 A T 20 P ReH A5 392 533 29.9 L -20 KV <sub>2</sub> 10 146 163 163 157   |  |  |                         |
| C71-C82/ Chemické složení [%]  |  |  |                         |
| tavba C Mn Si P S Cu Ni Cr Mo V Ti Al N Nb CEV   |  |  |                         |
| 08264 0.150 1.400 0.330 0.014 0.001 0.020 0.000 0.010 0.000 0.004 0.002 0.045 0.006 0.017 0.39   |  |  |                         |
| B07/ Identifikace výrobků  |  |  |                         |
| tavba čís.zk plechy  |  |  |                         |
| 08264 480321 320908 002 003  |  |  |                         |
| B06/ Značení výrobku, Marking of the product, Kennzeichnung des Erzeugnisses, Marquage du produit:<br>Vývalek, Plech, Tavná, Jakost, Zkouška / Rolled product No., Plate No., Heat No., Quality, Test No.,<br>Walzstück, Blech, Schmelzen, Qualität, Probe |  |  |                         |
| Radioiztopická aktivita materiálů nepřekročila 100 Bq/kg.<br>Garance UZ dle EN 10160 pl. st. S1.   |  |  |                         |

Z01/ Prohlášení na svou výlučnou odpovědnost, že uvedený výrobek na něj se vztahuje toto prohlášení jsou ve shodě s předpisy, jež jsou specifikovány kupní smlouvou a je na výrobky vydáno Prohlášení o vlastnostech dle nařízení EU č.305/2011.  
Es wird hiermit auf ausschliessliche Verantwortlichkeit erklärt, dass die hier angeführten Erzeugnisse auf die sich diese Erklärung bezieht, entsprechen den im Kaufvertrag spezifizierten Vorschriften. Thereby we declare to our exclusive responsibility that the mentioned products to which this declaration is in accordance with regulations, which are specified by the contract.

A04/ Značka výrobce:  
Manufacturer's mark  
Zeichen des Herstellers:  
Marque du producteur:



Z02/ Ověření platnosti  
Z03/ Razítko zástupce kontroly

**VÍTKOVICE STEEL**

MILAN SITKOVÁ  
Independent authorized agent  
unabhängiger berechtigter Vertreter  
nézavisely oprávněný zástupce

Závodní zřetel / Abnahmeauftrag des Herstellers /  
Works Inspector / L'expert de l'usine

C01/ Limitující vzorok, též: A - hřív, Top, Kopf, teta; Z - pat, Bottom, Fuss, pied  
C02/ Směr zkoušebních vzorků; L - podélná, longitudinal, längs; T - příčná, transverse, quer, transversal  
Z - vertikální, vertical, senkrecht  
C03/ Zkoušební teplota, Test temperature, Prüftemperatur, Température d'essai  
C10/ Tvar zkoušebního vzorku: P - prismatic, prismatic, prismatisch, C - cylindric, cylindric, zylindrisch  
C11/ Výrazní nebo smáknutí mez kluzu, Yield or proof strength, Stiefo oder Dehngrenze, Limite d'élasticité  
C12/ Mez pevnosti v tahu, Tensile strength, Zugfestigkeit, Résistance à la traction  
C13/ Tažnost, Elongation after fracture, Bruchdehnung, Allongement après rupture  
C40/ Tvar zkoušebního tělesa, C41/ Síla zkoušebního tělesa, C42/ Jednotlivé hodnoty, C43/ Sřední hodnota  
C70/ Způsob výroby oceli, Steelmaking process, Stahlherstellungsverfahren, Mode d'élaboration de l'acier, Y = BO  
200-F63

|   |  |               |
|---|--|---------------|
| <b>INSPEKČNÍ CERTIFIKÁT 3.1</b>                                     |  | EN 10204:2004 |
| INSPECTION CERTIFICATE, ABNAHMEPRÜFZEUGNIS, CERTIFICAT DE RÉCEPTION |  |               |
| A02   |  |               |

|  |  |                                      |                                    |
|--|--|--------------------------------------|------------------------------------|
| <b>VÍTKOVICE STEEL</b><br>A01 VÍTKOVICE STEEL, a.s.,<br>Morevská Ostrava Českobratrská 3321/46, ČESKÁ REPUBLIKA<br>A05 Kontrola jakosti, e-mail: quality.control@vitekovicesteel.com | A03/ Číslo dokumentu, No. N<br><b>858/2018</b> | Z02/Datum, Date<br><b>08.01.2018</b> | Strana, Page, Seite<br><b>2/ 2</b> |
|--|--|--------------------------------------|------------------------------------|

|  |                    |
|--|--------------------|
| A08/ Číslo zakázky výrobce, Manufacturer's work order No., Werkauftrag, Nr.,<br>Num. de la commande de l'usine productrice | <b>182483/2018</b> |
|--|--------------------|

EN ISO 9001 : TÜV NORD: 04109930144  
 EN ISO 14001: TÜV NORD: 04104030144  
 BS OHSAS 18001: TÜV NORD: 04118030144

| B14/ Taveno & Heat No. Schmelz Nr. No de la coule |  |  | B08/ Počet ks No. of pieces Stückzahl No. de pièces |     |     | C00/ Identifik. Identification Identifizierung Identifizierung |     |     | Zkouška tahem, Tensile test, Zugversuchkeit, Essai de traction |     |     |     |     |          |     |     | Zkouška rázem v chybě [J], Impact test [J], Kerbschlagversuchkeit [J], Essai de résilience [J] |  |  |  |
|---|--|--|---|-----|-----|--|-----|-----|--|-----|-----|-----|-----|----------|-----|-----|--|--|--|--|
| C70   |  |  | C01   | C02 | C03 | C10  | C11 | C13 | C11  | C12 | C13 | C02 | C03 | C40, C41 | C42 | C43 |  |  |  |  |
|   |  |  |   |     |     |  |     |     |  |     |     |     |     |          |     |     |  |  |  |  |

|  |
|--|
| <b>CE</b>  |
| 0045   |
| Vítkovice Steel, a.s.,<br>Českoobratrská 3321/46<br>CZ- 702 00 Moravská Ostrava  |
| 06   |
| 0045-CPR-0759  |
| Prohlášení o vlastnostech č. 0009/14<br><a href="http://www.vitekovicesteel.com">www.vitekovicesteel.com</a>   |
| EN 10025-1   |
| Za tepla válcované konstrukční a stavební ocelové výrobky<br>Uvažované použití: Konstrukce budov nebo stavebnictví<br>Mezní úchytky rozměrů a tolerance tvaru: Plech |
| EN 10029 AN  |
| Prodloužení<br>Mez pevnosti v tahu<br>Výrazná mez kluzu : Ocel<br>Rázová houževnatost<br>Svařitelnost<br>Životnost: Neurčuje se<br>Sledované látky: Neurčují se      |
| S355J2+N - EN 10025-2/2004   |

201/ Prohlášíme na svou výkonnou odpovědnost, že uvedené výrobky na něž se vztahuje toto prohlášení jsou ve shodě s předpisy, jež jsou specifikovány kupní smlouvou a je na výrobky vydáno Prohlášení o vlastnostech dle nařízení EU č. 305/2011.  
 Es wird hiermit auf ausschließliche Verantwortlichkeit erklärt, dass die hier angeführten Erzeugnisse auf die sich diese Erklärung bezieht, entsprechen den im Kaufvertrag spezifizierten Vorschriften. Thereby we declare to our exclusive responsibility that the mentioned products to which this declaration is in accordance with regulations, which are specified by the contract.

A04/ Značka výrobce:  
 Manufacturer's mark:  
 Zeichen des Herstellers:  
 Marque du producteur:



C01/ Umístění vzorku, Město: A - hlava, Top; Kopf, tele; Z - pata, Bottom, Fuss, pied  
 C02/ Směr zkoušebních vzorků: L - podélná, longitudinal, längs; T - příčná, transverse, quer, transversal  
 Z - vertikální, vertical, senkrecht  
 C03/ Zkoušební teplota, Test temperature, Prüftemperatur, Température d'essai  
 C10/ Tvar zkoušebního vzorku: P - oválný, prismatic, prismatisch, C - cylindrický, cylindric, zylindrisch  
 C11/ Výrazná nebo snížitelná mez kluzu, Yield or proof strength, Strefe oder Dehnstrenge, Limite d'élasticité  
 C12/ Mez pevnosti v tahu, Tensile strength, Zugfestigkeit, Résistance à la traction  
 C13/ Tahlost, Elongation after fracture, Bruchdehnung, Allongement apres rupture  
 C40/ Tvar zkoušebního tělesa, C41/ Šířka zkoušebního tělesa, C42/ Jednotlivé hodnoty, C43/ Střední hodnota  
 C00/ Způsob výroby oceli, Steelmaking process, Stahlherstellungverfahren, Mode d'élaboration de l'acier, Y = BO

200-F64

Z02/ Ověření platnosti  
 Z03/ Razítko zástupce kontroly

**VÍTKOVICE STEEL**  
 MUKAŠITKOVÁ  
 Independent authorized agent  
 unabhängiger berechtigter Vertreter  
 независимый оприравный злупоо

Závodní zmltec / Abnahmebeauftragte des Herstellers /  
 Works Inspector / L'expert de l'usine



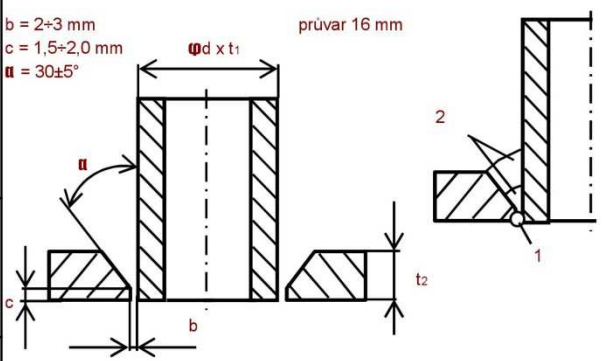

**Příloha 4** Technické údaje polohovadla RWP MILLER 1050.1221 Mk. II [38].

| Popis  | Hodnota                            |
|--|------------------------------------|
| Maximální nosnost statická                               | 1 700 Kg                           |
| Točivý moment na hřídeli hlavního vřetene                | 2 585,5 Nm                         |
| Točivý moment na hřídeli elevace hlavního hřídele        | 3 402 Nm                           |
| Rozsah otáček hlavního vřetene                           | 0,01 – 2,8 ot/min                  |
| Provozní zatížitelnost                                   | 24/7                               |
| Průměr příruby hlavního vřetene                          | 250 mm                             |
| Doporučený rozměr upínací desky                          | 1 050,0 x 21,0 mm                  |
| Rotace hlavního vřetene                                  | Programově řízeno                  |
| Elevace hlavního vřetene                                 | 0 – 90°, neřízená osa              |
| Naklánění ramene hořáku                                  | Plný rozsah, manuální osa          |
| Nastavení základní polohy ramene (3 klouby)              | Plný rozsah, manuální osa          |
| Upřesnění polohy hořáku                                  | Plný rozsah, manuální osa          |
| Precisní nastavení polohy hořáku                         | +/- 20,0 mm, manuální osa          |
| Vhodné metody svařování                                  | MIG/MAG, TIG, Plasma, Laser        |
| Vřetenem přenášený proud pro DC napětí                   | 550 A                              |
| Vřetenem přenášený proud pro AC                          | 450 A                              |
| Připojení svařovacího zařízení systémem START/STOP       | Ano                                |
| Nožní nebo ruční ovladač (regulace otáček, směr otáčení) | Ano                                |
| Napájení ze sítě   | 3x400V/N/PE/50 Hz                  |
| Stlačený vzduch (suchý, čistý)                           | 0,5 – 0,7 Mpa                      |
| Ochranné plyny pro ochranu kořene svaru                  | 1 nezávislá cesta                  |
| Charakteristika umístění na pracovní pozici              | Volně stojící, doporučeno zakotvit |
| Třída krytí  | IP 51C                             |
| Výška x šířka x hloubka                                  | 983 x 1 251 x 1 935 mm             |
| Hmotnost (bez upínacího prvku)                           | 350 Kg                             |

**Příloha 5** Technické údaje svařovacího zdroje Fronius TPS 500i [39].

| Popis                               | Hodnota            |
|-------------------------------------|--------------------|
| Síťové napětí                       | 3 x 400 V          |
| Síťové jištění                      | 35 A zpožděný typ  |
| Tolerance síťového napětí           | +/- 15%            |
| Síťová frekvence                    | 50 / 60 Hz         |
| Účinník                             | 0,99               |
| Rozsah svařovacího proudu (MIG/MAG) | 3 – 500 A          |
| Svařovací proud (10 min/40 °C)      | 40% DZ – 500 A     |
|                                     | 60% DZ – 430 A     |
|                                     | 100% DZ – 360 A    |
| Výstupní napětí (MIG/MAG)           | 14,2 – 39,0 V      |
| Napětí naprázdno                    | 71 V               |
| Krytí                               | IP 23              |
| Emisní třída EMC                    | A                  |
| Rozměry D x Š x V                   | 706 x 300 x 510 mm |
| Váha                                | 38 kg              |

## Příloha 6 Předběžná specifikace postupu svařování.

|  |         |                                     |               |   |                    |   |                 |
|--|---------|-------------------------------------|---------------|---|--------------------|---|-----------------|
| <b>EKOINVESTA s.r.o.</b><br>stavby-voda-topeni-plyn  |         | <b>EKO</b>                          |               | <b>Welding Procedure Specification acc. to EN ISO 15 609 -1</b><br><b>Specifikace svařovacího postupu dle EN ISO 15 609-1</b>                                     |                    | <b>pWPS</b><br><b>1.2_1.2_138_BW_1</b>      |                 |
| <b>Welding Process/Metoda: 1. 138 2.</b>   |         |                                     |               | <b>Supporting/Související PQR:</b>  |                    |   |                 |
| Type of Weld/Typ svaru: butt weld - poloautomat / tupý svar - strojní  |         |                                     |               | Application/Aplikace: EN ISO 15613  |                    |   |                 |
| Backing/Podložka: n.a.   |         |                                     |               | Manufacturer/Výrobce: EKOINVESTA spol. s r.o.   |                    |   |                 |
| <b>Base metal / Základní materiál (acc. to dle EN ISO 15 608):</b>   |         |                                     |               |   |                    |   |                 |
| Material 1: S355J2H  |         | Group/Sk.: 1.2                      |               | Outside Dia./Vnější Ø: 358  |                    | Thickness/Tloušťka: 17,5 mm                 |                 |
| to/k Material 2: S355J2+N  |         | Group/Sk.: 1.2                      |               | Outside Dia./Vnější Ø: 358  |                    | Thickness/Tloušťka: 30 mm                   |                 |
| Remark/Poznámka:   |         |                                     |               |   |                    |   |                 |
| <b>Filler Material / Svařovací materiál:</b>   |         |                                     |               | <b>Joint Design / Tvar spoje:</b>   |                    |   |                 |
| Classification: 1. EN ISO 17632-A 2. n.a.<br>Klasifikace: T 46 6 M M 1 H5<br>Designation: 1. n.a. 2. n.a.<br>Označení: Megafil 710 M<br>Size/Průměr: 1. 1,2 mm 2. n.a. mm<br>Name-Type of Flux/Uměno-tytavidla:<br>Drying of F.M./Sušení svař. mat.: 1. n.a. 2. n.a.<br>Replace/Náhrada: 1. 2. |         |                                     |               | b = 2+3 mm<br>c = 1,5+2,0 mm<br>$\alpha = 30 \pm 5^\circ$<br>průvrať 16 mm<br> |                    |   |                 |
| Remark/Poznámka:   |         |                                     |               | <b>Design of bevel acc. to drawing / tvar úkosu dle výkresu</b>   |                    |   |                 |
| <b>Preheat / Předehřev:</b>  |         | <b>Interpass:</b>                   |               | <b>Soaking/Dohřev:</b>  |                    | <b>Cooling After W./Ochlazení po svař.:</b> |                 |
| Preheat Temp./Teplota předehřevu: none °C  |         | 300 °C                              |               | - °C  |                    | still air / klidný vzduch                   |                 |
| Device/Zařízení*   |         | Remark / Poznámka:                  |               | Temp. Control/Kontrola teploty: n.a.  |                    |   |                 |
| <b>Post Weld Heat Treatment / Tepelné zpracování po svařování:</b>   |         |                                     |               |   |                    |   |                 |
| Type/Typ: none   |         | Temperature/Teplota: none °C        |               | Holding Time/Čas výdrže*:   |                    | Heating Rate / Rychl. ohřevu*               |                 |
|  |         |                                     |               | Cooling Rate / Rychl. ochlazení*  |                    |   |                 |
| <b>Technique / Technika svařování:</b>   |         |                                     |               |   |                    |   |                 |
| Tungsten El./Wolframová elektroda: Ø n.a. mm Type: n.a.  |         |                                     |               |   |                    |   |                 |
| Type of Bead/Tvar housenky: n.a. Stick Out / Výlet drátu: 1. 17 mm 2. n.a.   |         |                                     |               |   |                    |   |                 |
| Oscillation/Oscilace: 1. n.a. 2. n.a. Pulsing/Pulzace: 1. n.a. 2. n.a.   |         |                                     |               |   |                    |   |                 |
| Edge Preparation/Připrava úkosu: machined / mechanicky   |         |                                     |               |   |                    |   |                 |
| Method of Cleaning/Metoda čištění: brushing, grinding / kartáčování, broušení  |         |                                     |               |   |                    |   |                 |
| Method of Back Gouging/Drážkování kořene: n.a. Remark/Poznámka:  |         |                                     |               |   |                    |   |                 |
| <b>Welding Parameters / Svařovací parametry:</b>   |         |                                     |               |   |                    |   |                 |
| Layer(s)   | Process | Filler Material/ Svařovací materiál | Type/Polarity | Amperage/ Proud (A)   | Voltage/Napětí (V) | Heat Input/Vnesené teplo (KJ/mm)            | Remakr Poznámka |
| Vrstva   | Metoda  | Ø (mm) Klasifikace                  | Typ /Polarita |   |                    |   |                 |
| Root / Kořen   | 138     | 1,2 T 46 6 M M 1 H5                 | DC/+          | 180 - 220   | 26 - 28            |   |                 |
| Filler / Vypilň  | 138     | 1,2 T 46 6 M M 1 H5                 | DC/+          | 210 - 250   | 26 - 28            |   |                 |
| Caps / Krycí   | 138     | 1,2 T 46 6 M M 1 H5                 | DC/+          | 220 - 260   | 26 - 28            |   |                 |
| <b>Remarks / Poznámky:</b>   |         |                                     |               |   |                    |   |                 |
| Tack welding shall be performed accordance with manual WPS/ Stehování musí být provedeno v souladu s ruční WPS.  |         |                                     |               |   |                    |   |                 |
| Repair welding has to be done according to this WPS/ Opravy svařování musí být provedeny dle této WPS.   |         |                                     |               |   |                    |   |                 |
| Svařovat na automatu / Welding on automat: RWP Miller 1050.1221 Mk.II / Zdroj/Power Source: Fronius TPS 500i   |         |                                     |               |   |                    |   |                 |
|   |         |                                     |               |   |                    |   |                 |
| pWPS EN 1.2_1.2_138_B Prepared by/Připravil: Tadeáš Cichá Approved by/Schválil: Sigmund Date/Datum: 26.3.2018 Revision/Revize: 0 Page/Strana: 1/1  |         |                                     |               |   |                    |   |                 |

**Příloha 7** Materiálový list trubičkového drátu Megafil 710 M [42].



## Materiálový list



### Megafil ® 710 M

Strana 1/2

|              |  |
|--------------|--|
| SKUPINA:     | Nelegované a nízkolegované oceli   |
| METODA:      | Plněné elektrody (trubičkové dráty)  |
| TYP:         | Trubičkový drát s kovovou náplní FCAW / MAG  |
| NORMY:       | EN ISO 17632-A : T 46 6 M M 1 H5<br>AWS SFA-5.18 : E 70 C - 6M H4  |
| CERTIFIKACE: | TÜV, DB, GL, BV, LR, DNV, RINA, ABS, CWB   |
| VÝROBCE:     | Drahtzug Stein - ITW Welding   |
| MATERIÁLY:   | Lodní průmysl - A, B, D, AH 32 - EH 36<br>Konstrukční nelegované oceli < 355 MPa - S185 - S355, A 106 Gr. B, A 333 Gr. 6<br>Tlakové nádoby < 355 MPa - P235GH - P355GH<br>Ocel na potrubí < 460 MPa - P235T1/T2 - P460NL2, L210 - L445MB<br>Jemnozrnné oceli < 460 MPa - S255-S460QL1<br>Ocel dle API-norem < 460 MPa - X42 až X60   |
| POUŽITÍ:     | Megafil ® 710M je trubičkový drát s kovovou náplní vhodný pro svařování ocelových konstrukcí, tlakových nádob, v lodářském průmyslu, strojní díly a komponenty, potrubní díly a tlakové rozvody, offshore konstrukce.<br>Dobré zapalování oblouku i při studeném drátu, výhodný pro aplikace se svařovacími roboty, svařování na více vrstev bez nutnosti čištění sváru od nečistot, ideální jak pro krátký oblouk tak i pro sprchový proces, vynikající přemostění vřít v kořenových vrstvách, vysoká efektivita svařování pro ekonomickou výrobu svařenců. |

### CHEMICKÉ SLOŽENÍ

| C    | Mn  | Si  | P      | S      | Fe   |
|------|-----|-----|--------|--------|------|
| 0,05 | 1,5 | 0,7 | ≤0,015 | ≤0,015 | rest |

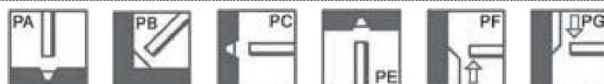
### MECHANICKÉ VLASTNOSTI

| Stav                      | R <sub>p0.2</sub><br>[MPa] | R <sub>m</sub><br>[MPa] | A <sub>5</sub><br>[ % ] | Nárazová energie ISO-V<br>[ J ] |             |
|---------------------------|----------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------------|-------------|
| AW + TZ : 600°C/1<br>hod. | > 460                      | > 550-680               | 26                      | -40°C<br>60                     | -60°C<br>47 |

POLARITA: DC+

PLYN: M21 / C1

POLOHY:



## 16.4.2018

[illegible]

|                                      |                       |
|--------------------------------------|-----------------------|
| Welder:                              | Kovářík Jaromír       |
| Welding position:                    | PA                    |
| Welding process:                     | 138                   |
| 1st Material:                        | S355J2H               |
| Outside diameter:                    | 355,60 mm             |
| Material thickness:                  | 17,5mm                |
| Charge No. 1st Mat.:                 | 84073K                |
| 2nd Material:                        | S355J2+N              |
| Outside diameter:                    | Plate                 |
| Material thickness:                  | 30mm                  |
| Charge No.2nd Mat.:                  | 8264                  |
| Filler material:                     | MF710M Pr 1,2mm       |
| Charge No.                           | 107706                |
| pWPS No.:                            | pwps_1.2_1.2_138_BW_1 |
| Testdate:                            | 29.3.2018             |
| VPP No.:                             | SP01/2018             |
| průvaz 16mm                          |                       |
| l=18/min, plyn M21 Ar 82/18CO2       |                       |
| automat: RWPP Miller 1050.1221 Mk.II |                       |
| zdroj: Fronius TPS 500i              |                       |

Signature:

zaznam svarovani SP01-2018



**Příloha 9** Protokol o vizuální kontrole svarů.

|   |            |                                |   |                                   |
|---|------------|--------------------------------|---|-----------------------------------|
| <b>EKOINVESTA s.r.o.</b><br><small>stavby-voda-topeni-plyn</small>  | <b>EKO</b> | <b>EKOINVESTA spol. s r.o.</b> | <b>SP01/2018/VT01</b>                         |                                   |
|   |            |                                | <small>Počet stran / No of pages</small><br>1 | <small>Strana / Page</small><br>1 |
| <small>NÁZEV DOKUMENTU / TITLE:</small><br><b>PROTOKOL O VIZUÁLNÍ KONTROLE SVARŮ</b><br><b>RECORD OF VISUAL INSPECTION OF WELDS</b> |            |                                |   |                                   |

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Projekt (název, číslo) /</b><br><b>Project (name, No.)</b><br><br>WPQR SP01/2018   | <b>Výkres č./ Drawing No.</b><br><br>pwps 1.2_1.2_138_BW_1<br>Svarenc_pro_kvalifikaci                               | <b>Subject / Objednávka</b><br><br>/  |
| <b>Dodavatel / Supplier</b><br><br>EKOINVESTA spol. s r.o.  | <b>Druh kontroly / Kind of inspection</b><br><br>Vizuální / visual  | <b>I&amp;T program / I&amp;T program</b><br><br>/                                     |
| <b>Výrobek (průměr, tloušťka, radius) /</b><br><b>Product (dimensions)</b><br><br>1ks / 1pcs<br>Příruba / Flange<br>Tr. 355,60x17,5mm<br>– heat no. 84073K<br>Plech / Plate<br>30mm – heat no. 8264 | <b>Postup / Normy/</b><br><b>Procedure / Standards</b><br><br>Method - EN ISO 17637,<br>Evaluation - EN ISO 5817-B, | <b>Místo měření /</b><br><b>Measurement Place.:</b><br><br>Hranice - dílna / workshop |

|  |   |
|--|---|
| <b>Materiál/ Material:</b>                   | S355J2H, S355J2+N   |
| <b>Kontrolované sváry / Inspected welds:</b> | Všechny sváry v poloze PA na automatu/ All seams welded in PA position on automat.  |
| <b>Rozsah / Range:</b>                       | 100 %   |
| <b>Nalezené vady / Defects.:</b>             | <input type="checkbox"/> 5012 nesouvislý zápal / intermittent undercut<br><input type="checkbox"/> 2017 povrchový pór / surface pore<br><input type="checkbox"/> 2025 koncová kráterová staženina / end crater pipe<br><input type="checkbox"/> 4021 neprovařený kořen / incomplete root penetration<br><input type="checkbox"/> 502, 503 nadměrné převýšení sváru / excess weldmetal<br><input type="checkbox"/> 504 nadměrné převýšení kořene / excessive penetration<br><input type="checkbox"/> 517 vadné napojení / poor restart<br><input type="checkbox"/> 602 rozstřík / spatter<br><input type="checkbox"/> 603 dotyk elektrodou / arc strike<br><input type="checkbox"/> 507 lineární přesazení / linear misalignment |

Nalezené vady a jejich rozměry vyhovují EN ISO 5817-B. / Found imperfections and their dimensions are accepted by EN ISO 5817-B.

**Výsledek kontroly / Result of the test :**

**Vyhovuje / Acceptable :**

☒ **ANO/YES**

☐ **NE/NO**

|   |   |                                   |
|---|---|-----------------------------------|
| <b>Vystavil / Issued by :</b><br>Jméno / Name: Ing. Sigmund Marian<br> | <b>Certifikát č. / Certificate No.</b><br><b>0885/VT2</b> | <b>Datum / Date:</b><br>29.3.2018 |
|---|---|-----------------------------------|

**Příloha 10** Protokol o penetrační kontrole svarů.

|   |                                |                                |                    |
|---|--------------------------------|--------------------------------|--------------------|
| <b>EKOINVESTA s.r.o.</b><br>stavby-voda-topeni-plyn <b>EKO</b>  | <b>EKOINVESTA spol. s r.o.</b> | <b>SP01/2018/PT01</b>          |                    |
|   |                                | Počet stran / No of pages<br>1 | Strana / Page<br>1 |
| NÁZEV DOKUMENTU / TITLE:<br><b>PROTOKOL O PENETRAČNÍ KONTROLE SVARŮ</b><br><b>RECORD OF PENETRANT INSPECTION OF WELDS</b> |                                |                                |                    |

**Projekt (název, číslo) / Project (name, No.)**

|                                       |  |                                   |
|---------------------------------------|--|-----------------------------------|
| WPQR SP01/2018                        | Hranice- dílna / workshop                  | 29.3.2018                         |
| <b>Zakázkové č. / Order No.</b>       | <b>Místo kontroly / Test location</b>      | <b>Datum kontroly / Test date</b> |
| 1ks / 1pcs                            | /  | S355J2H, S355J2+N                 |
| Příruba / Flange                      |  |                                   |
| Tr. 355,60x17,5mm                     |  |                                   |
| – heat no. 84073K                     |  |                                   |
| Plech / Plate                         |  |                                   |
| 30mm – heat no. 8264                  |  |                                   |
| <b>Předmět zkoušení / Test object</b> | <b>I&amp;T program / I&amp;T program</b>   | <b>Materiál / Material/</b>       |
| Očistěný/odmaštěný                    | 17,5mm/30mm                                | BW (tupý) bez průvaru             |
| <b>Povrch / Surface</b>               | <b>Síla materiálu / Material thickness</b> | <b>Typ svaru / Type of weld</b>   |

**Podmínky zkoušky / Test conditions:** ČSN EN ISO 3452-1, EN ISO 23277-2x

**Zkoušený předmět / Subject of Examination:**

100 % svarů – svařováno na automatu v pozici PA dle pwps 1.2\_1.2\_138\_BW\_1  
100 % welds – welded in PA position on automat acc. pwps 1.2\_1.2\_138\_BW\_1

**Údaje o zkoušení / Technical data**

**Metoda / Method:** PT

**Zkušební prostředky / Examination means**

**Výrobce / Manufacturer:** DIFFU-THERM GbmH

**Penetrační čas / Penetration time:** 15 min.

**Odmašťovač / Cleaner:** Diffu-Therm Reiniger BRE

**Čas vývojký / Developertime:** 15 min.

**Detekční tekutina / Penetrant:** Diffu-Therm Farbeindringmittel BDR

**Teplota / Temperature:** 15° C

**Vývojka / Developer:** Diffu-Therm Entwickler BEA

**Vyhodnocení – závěr / Evaluation – result:** Bez nepřipustných indikací.

**Výsledek kontroly / Result of the test :**

**Vyhovuje / Acceptable :**

**X ANO/YES**

**NE/NO**

|   |   |                                   |
|---|---|-----------------------------------|
| <b>Vystavil / Issued by :</b><br>Jméno / Name: Ing. Sigmund Marian<br> | <b>Certifikát č. / Certificate No.</b><br><b>0885/PT2</b> | <b>Datum / Date:</b><br>29.3.2018 |
|---|---|-----------------------------------|